



HAL
open science

La robustesse en philosophie des sciences : définition, difficultés, enjeux philosophiques

Léna Soler

► **To cite this version:**

Léna Soler. La robustesse en philosophie des sciences : définition, difficultés, enjeux philosophiques. Annales de l'ISUP, 2012, 56 (2-3), pp.119-148. <hal-03615327>

HAL Id: hal-03615327

<https://hal.science/hal-03615327v1>

Submitted on 21 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Pub. Inst. Stat. Univ. Paris
56, fasc. 2-3, 2012, 119-148

LA ROBUSTESSE EN PHILOSOPHIE DES SCIENCES : DEFINITION, DIFFICULTES, ENJEUX PHILOSOPHIQUES

PAR LÉNA SOLER[†]

Archives Henri Poincaré, LHSP[¶]

Résumé. L'article prend pour point de départ les travaux du philosophe de la biologie de William Wimsatt, l'un de ceux qui a le plus systématiquement et extensivement pensé la question de la robustesse en philosophie des sciences. En s'inspirant de ces travaux, la robustesse d'un ingrédient X quelconque des pratiques scientifiques est définie comme suit : X est robuste = X est invariant sous de multiples dérivations indépendantes. La réflexion se focalise ici sur le cas emblématique de la robustesse des *propositions* scientifiques, illustré à partir du cas particulier de la robustesse d'un résultat *expérimental* établi dans les années 70, à savoir l'existence des courants faibles neutres. L'article s'attache à analyser le fonctionnement des attributions de robustesse aux propositions scientifiques, en mettant en évidence un certain nombre de difficultés occultées par l'apparente simplicité de la définition de Wimsatt. Deux lectures très différentes du schéma de robustesse 'dérivations multiples convergeant sur une même proposition' sont dégagées, contrastées et mises en relation : d'un côté la lecture la plus intuitive et la plus commune, au premier abord presque irrésistible, qui peut être dite fondationaliste et réaliste ; de l'autre une lecture moins intuitive mais à l'examen plus convaincante, qui sera caractérisée comme symbiotique et contingentiste. Au cours de ce cheminement, seront discutés le statut et la valeur du schéma de robustesse pour l'analyse des pratiques scientifiques, et esquissés les enjeux philosophiques du problème de la robustesse appliqué à la connaissance scientifique, à savoir les questions du réalisme scientifique et de la contingence des résultats scientifiques.

Abstract. Inspired by the work of the philosopher of biology William Wimsatt, the paper starts with the following definition of robustness: X is robust = X is invariant under multiple, independent derivations. The reflection focuses on the emblematic case of the robustness of scientific *propositions*, illustrated on the particular case of the robustness of an *experimental* result established in the 70s, namely the existence of weak neutral currents. The article analyzes the way robustness is attributed to scientific propositions, and reveals several difficulties hidden by the apparent simplicity of Wimsatt's definition. Two readings of the robustness scheme 'multiple derivations converging on one and the same proposition' are contrasted and related one to the other: on the one side, the most intuitive and common reading, which is almost irresistible and can be called foundationalist and realist; on the other side, another, less intuitive but arguably more convincing reading, which will be characterized as symbiotic and contingentist. Along the road, the status and value of the robustness scheme are discussed, and the philosophical implications of the robustness issue applied to scientific knowledge, namely scientific realism and contingentism, are sketched.

1. Introduction : première approche de la robustesse en philosophie des sciences. Le terme de « robuste » est fréquemment utilisé, par les praticiens des sciences comme par les philosophes des sciences, mais ses usages s'avèrent multiformes et son sens le plus souvent vague. En fait, le terme « robuste » est couramment employé en un sens intuitif et indéfini qui, globalement, fonctionne comme un compliment signifiant « fiable », « stable », « efficace », « bien établi », « crédible », « digne de confiance »,

[†]Cette recherche s'inscrit dans le cadre du projet PratiScienS (acronyme de « Repenser les sciences sous l'angle des pratiques scientifiques »), dirigé par L. Soler depuis 2007 à Nancy. Le projet est soutenu par l'ANR, la MSH Lorraine, la Région Lorraine, les Archives H. Poincaré et Nancy Université.

voire « objectif » ou « vrai ». Ce qui rassemble tous ces usages, c'est une idée vague de force. Une hypothèse scientifique est dite « robuste » quand elle est créditée de posséder une certaine force – mais quel type de force ? Acquis comment ? C'est ce qui reste trop souvent non interrogé.

A côté de ces usages vagues du lexique de la robustesse, William C. Wimsatt – philosophe des sciences et plus spécialement de la biologie – a, dans un article séminal paru en 1981 [Wimsatt 1981], introduit une définition de la robustesse qui, tout en perpétuant l'association commune avec les idées de fiabilité, de crédibilité, etc., est plus précise et plus technique. C'est cette définition qui constituera le point de départ de la présente réflexion.

En s'inspirant des travaux de Wimsatt la robustesse se laisse, au niveau le plus général, définir comme suit :

X est robuste = X est invariant sous une multiplicité de processus (au moins partiellement) indépendants.

Schématiquement et visuellement, la représentation qui vient très spontanément à l'esprit est un schéma flèches-nœud, dans lequel une série de flèches ascendantes représentant les processus (disons trois flèches) convergent sur un nœud X (voir figure 1). J'appellerai la configuration 'trois flèches-un nœud' le *schéma élémentaire prototypique de robustesse*. Le schéma est *élémentaire* car, comme cela apparaîtra section 10, il peut être vu comme une sorte de motif de base susceptible d'intervenir dans des configurations beaucoup plus complexes. Il est de surcroît *prototypique*, car d'autres configurations, moins étroitement et moins 'automatiquement' associées dans les esprits à l'idée de robustesse que le cas comparativement qualifié de « prototypique », peuvent conférer de la robustesse à un X (voir sections 8 et 10).

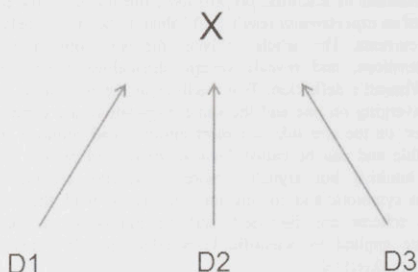


Figure 1 : Le schéma élémentaire prototypique de robustesse (dans la représentation flèches-nœuds)

Le schéma élémentaire prototypique de robustesse se veut très général : il est même qualifié par Wimsatt d'universel. C'est qu'il présuppose seulement la distinction, en effet extrêmement générale, entre processus (représentés par les flèches) et produit de ces processus (représenté par le nœud X). A partir de ce niveau le plus général de caractérisation, la définition de la robustesse se laisse différemment spécifier, dans chaque contexte particulier, en fonction de deux variables :

(i) *La nature du X en position de nœud*. Typiquement, on pense à des propositions

scientifiques (hypothèses, théories, faits expérimentaux...). Mais rien n'empêche de soulever la question de la robustesse d'autres types de produits des pratiques scientifiques, tels par exemple que des images, des instruments de mesure, etc. [Soler 2012a]. Corrélativement, la question de la robustesse est souvent posée à propos de X_s qui *ni* ne sont des énoncés, *ni* ne relèvent des produits de la science, mais s'identifient à des entités matérielles peuplant le monde naturel : ainsi, les biologistes et philosophes de la biologie évoquent très souvent, en général dans le cadre d'une théorie d'inspiration évolutionniste, la robustesse de tel ou tel *organisme vivant* ou de telle ou telle *fonction biologique* ([Wimsatt 2012] parle alors de « robustesse matérielle », par opposition avec la « robustesse inférentielle » qui s'applique à des entités épistémiques).

(ii) *La nature des processus pourvoyeurs de robustesse.* Les flèches qui convergent sur X peuvent représenter des processus divers : arguments 'purement théoriques' ; arguments expérimentaux ; simulations ; processus évolutionnistes supposés responsables de la stabilité temporelle d'un organisme ou d'une fonction biologique dans le cas de la robustesse matérielle ; etc.

Dans la suite de cet article, je ne chercherai pas à être fidèle aux détails de la conception de Wimsatt, mais ferai bien plutôt un usage opportuniste de cette conception, extrayant d'elle ce qui m'intéresse et re-qualifiant les situations à ma manière. Je me focaliserai sur la question de la robustesse d'un type particulier de X , celui qui est traditionnellement au cœur des discussions en philosophie des sciences, à savoir *les propositions scientifiques*. En d'autres termes, dans les développements ci-dessous, X dénote un *énoncé scientifique*, et les flèches des *arguments en faveur de cet énoncé*. Pour couvrir tous les cas possibles au moyen d'un terme générique relativement neutre, j'appellerai ces arguments, qui peuvent être de diverses natures, des *dérivations*.

2. Une illustration historique du schéma élémentaire prototypique de robustesse.

Pour donner un peu de corps à mon propos, je m'appuierai sur un exemple particulier que j'ai eu l'occasion d'analyser ailleurs plus en détails [Soler 2012b]. Il s'agit d'un épisode historique situé au début des années 1970, souvent décrit comme la « découverte des courants neutres faibles ». Cet épisode s'avère intéressant à de multiples titres, et pour commencer, parce qu'au premier abord, il semble fournir une parfaite exemplification historique d'un schéma de robustesse à la Wimsatt, offrant ainsi une incarnation réelle et une illustration concrète du schéma abstrait. L'épisode sera présenté de manière extrêmement simplifiée, sans rentrer dans les détails techniques.

Les courants faibles *neutres* désignent un événement sub-atomique (collision entre particules ou désintégration), dit « faible » car mettant en jeu l'interaction faible, et dit « neutre » car n'intervient *pas* de changement de charge entre les particules initiales et finales. Au contraire, un changement de charge intervient dans le cas des courants faibles *chargés*. Jusqu'à la fin des années 60, seuls les courants faibles chargés étaient supposés exister. Les courants faibles neutres, eux, étaient assumés inexistantes – sans qu'il y ait vraiment de discussion approfondie à ce sujet. Au tournant des années 70, cependant, la question de l'existence des courants faibles neutres change de statut. Pour des raisons qui ne seront pas analysées ici – mais qui ont notamment à voir avec le fait qu'une théorie hautement valorisée en raison de son potentiel unificateur, dite « de Weinberg-Salam », prédit l'existence de tels processus –, la question de l'existence des courants faibles neutres est posée et devient une priorité. Plusieurs équipes européennes et américaines

d'expérimentateurs s'y attaquent.

En 1973-74, sont publiés les premiers articles qui, sur des bases expérimentales, accordent un fort crédit à l'existence des courants neutres faibles. Par la suite, la conclusion que les courants faibles neutres existent n'a pas été remise en cause, et la physique des particules s'est développée en intégrant cette assomption. En simplifiant et pour s'affranchir des difficultés méthodologiques bien connues liées à la datation des découvertes scientifiques, identifiions de manière conventionnelle l'année 1975 au moment de la « découverte des courants faibles neutres ». Admettons qu'à cette date, une majorité des praticiens impliqués estiment que l'existence des courants neutres faibles est expérimentalement établie.

Si l'on considère rétrospectivement, vu d'aujourd'hui, la situation historique en 1975, on est fortement incité à la représenter à partir d'un schéma élémentaire prototypique de robustesse (voir figure 2) : trois flèches, représentant trois dériviatives D1, D2 et D3 – qui, en l'occurrence, correspondent à trois arguments *expérimentaux* au moins partiellement indépendants (respectivement publiés dans [Hasert 1973a], [Hasert 1973b] et [Benvenuti 1974]) –, convergent sur un même énoncé scientifique X – qui, en l'occurrence, s'identifie à un énoncé de type 'fait expérimental' susceptible d'être formulé de la manière suivante : « X = existence des courants faibles neutres ».

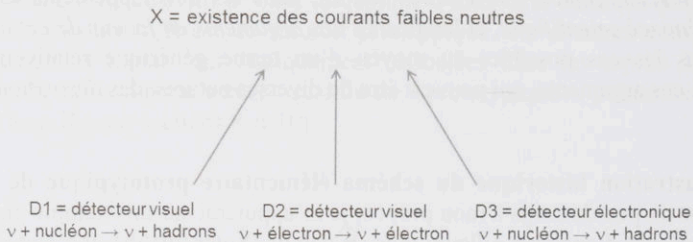


Figure 2 : Schéma de robustesse associé à la découverte des courants faibles neutres en 1975

Nous reviendrons plus bas (sections 4.E et 5) sur le sens et les difficultés de l'exigence d'indépendance (partielle) des dériviatives, inscrite par Wimsatt dans sa définition de la robustesse. En attendant, contentons-nous d'indiquer qu'*intuitivement*, les dériviatives D1, D2 et D3 paraissent satisfaire cette exigence pour au moins deux raisons.

(1) Premièrement, les trois expérimentations de référence sont basées sur des *principes physiques notablement différents*. En particulier, deux types très différents de détecteurs sont mobilisés. D'un côté, un détecteur souvent dit « visuel » du fait que les sorties instrumentales sont des images (clichés) : en l'occurrence, les expériences sur lesquelles s'appuient les dériviatives D1 et D2, conduites à Genève au CERN, utilisent une chambre à bulles géante baptisée « Gargamelle ». De l'autre côté, un détecteur souvent dit « électronique » dans la mesure où le dispositif effectue des comptages et produit des nombres (comme c'est le cas avec un compteur Geiger). Les expériences sur lesquelles s'appuient la dérivation D3, mises en œuvre au National Accelerator Laboratory situé aux Etats-Unis, dans l'Illinois près de Chicago, utilisent un détecteur électronique. Pour faire bref, je parlerai dans ce qui suit de « dériviatives visuelles » (D1 et D2) et de « dérivation

électronique » (D3).

(2) Deuxièmement, les trois dérivations D1, D2 et D3 paraissent partiellement indépendantes pour une autre raison qui se conjugue à la précédente, à savoir que les arguments expérimentaux considérés portent *sur des espèces différentes de courants faibles neutres* associés à des critères expérimentaux différents de détection. En effet, D1 et D3 argumentent la détection expérimentale de l'interaction faible neutre $\nu + \text{nucléon} \rightarrow \nu + \text{hadrons}$ (où ν est un neutrino), tandis que D2 soutient qu'a été expérimentalement détectée l'espèce distincte $\nu + \text{électron} \rightarrow \nu + \text{électron}$. Au total, les trois arguments expérimentaux, comparés deux à deux, présentent des différences de contenu qui paraissent suffisamment importantes pour conclure intuitivement que la clause d'indépendance partielle est satisfaite.

3. La lecture intuitive quasi-irrésistible, fondationnelle et réaliste, du schéma de robustesse. Pour quelles raisons est-ce que dans une telle configuration, le X qui se trouve au point de convergence des flèches nous semble intuitivement « robuste », c'est-à-dire doté d'une certaine force épistémique susceptible d'être exprimée par l'intermédiaire d'un lexique plus ou moins chargé, allant, comme explicité en introduction, de la crédibilité à la vérité, en passant par la fiabilité ? La réponse la plus 'naturelle' à cette question, celle qui se présente d'abord à l'esprit du philosophe qui se l'adresse en vue d'expliciter de quoi sont fait les jugements largement tacites des praticiens des sciences, celle, aussi, que Wimsatt a manifestement en tête dans ses écrits, correspond à ce que j'appellerai la lecture « fondationnelle » du schéma de robustesse.

Les inférences implicites qui sous-tendent cette lecture du schéma de robustesse et lui confèrent en fin de compte son pouvoir de conviction peuvent être reconstruites comme suit (voir figure 3 pour une représentation schématique flèches-nœuds). A un certain moment de l'histoire des sciences, des praticiens des sciences ont développé un premier argument en faveur d'une certaine proposition X (disons la dérivation visuelle D1). De manière complètement parallèle, d'autres scientifiques ont développé (possiblement à une autre époque) une seconde dérivation D2, nettement différente de D1, qui a abouti à X. Parallèlement, d'autres scientifiques encore ont élaboré une troisième dérivation (disons la dérivation électronique D3), basée sur des principes nettement différents de ceux de D1 et D2, au terme de laquelle ils ont trouvé X. Conclusion de celui qui considère la situation dans son ensemble : trois fois X ! Trois chemins indépendants aboutissant tous trois au même point, à un seul et même résultat ! (à ce stade du raisonnement, la figure 3 est convertie en la figure 1). Ce serait une coïncidence extra-ordinaire, un 'miracle', si c'était par hasard. Il est bien plus vraisemblable de conclure que X est un résultat *effectivement* robuste. Ou selon d'autres formulations classiques, la « meilleure explication » est que X est *intrinsèquement* robuste.

X = existence des courants faibles neutres

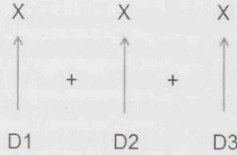


Figure 3 : La lecture fondationnelle du schéma de robustesse

Avant d'analyser plus avant le sens des termes « effectivement » et « intrinsèquement » qui, dans la conclusion ci-dessus, qualifient la robustesse, il convient d'explicitier un présupposé, important mais rarement questionné, de la lecture précédente du schéma de robustesse. Chacune des flèches considérée 'en elle-même', c'est-à-dire isolément des autres flèches et du X impliqués dans le schéma de robustesse, est tenue pour 'suffisamment fiable', au sens où elle est supposée recourir à des assomptions, des techniques et des méthodes dignes de confiance. En d'autres termes, dans cette lecture du schéma de robustesse, le lecteur, dont l'intérêt est focalisé sur la question de la robustesse *du nœud X, présuppose*, pour conclure que X est robuste du fait qu'il est invariant sous trois dérivations indépendantes, la 'robustesse' *des flèches elles-mêmes* – ou plus exactement des contenus et des démarches articulés au sein de chaque dérivation.

Si, dans la phrase précédente, des guillemets ont été apposés au terme de « robustesse », c'est qu'en toute rigueur, à adopter la définition inspirée de Wimsatt spécifiée en introduction, *seuls les nœuds* peuvent être qualifiés de « robustes » (sur la base du fait qu'ils sont au carrefour de multiples flèches). Pour pouvoir traiter de la fiabilité *des flèches* sans faire violence à la définition initiale, j'utiliserai, dans la suite des développements, le lexique de la « solidité » comme lexique générique pour qualifier la force *d'un ingrédient quelconque* des pratiques scientifiques (donc en particulier la force des flèches-dérivations). Selon cette convention, la robustesse au sens spécifique de la définition de Wimsatt est un cas particulier de solidité (X est robuste = X est solide *car* X est invariant sous une multitude de dérivations indépendantes).

Sous la présupposition de la solidité de chaque dérivation considérée isolément, *chacune* des trois dérivations-flèches indépendantes constitue *un* élément de justification en faveur de X, et les *trois* éléments pris ensemble *fondent* la robustesse du X qu'ils permettent chacun indépendamment de dériver (tout ceci, *aux yeux des praticiens et des philosophes des sciences* engagés dans cette lecture du schéma de robustesse, qui s'empressent de rajouter cette clause, prudente mais dépourvue de tout effet pratique : dans-un-état-de-développement-scientifique-et-jusqu'à-nouvel-ordre-bien-entendu). D'où le choix de qualifier cette lecture du schéma de lecture *fondationnelle*, en entendant le terme « fondationnel » en un sens relatif plutôt qu'absolu : au sens où le second étage d'une construction s'appuie sur le premier et s'effondre si le premier lâche (plutôt qu'au sens où des fondations 'ultimes' soutiennent l'ensemble des étages d'une construction).

La lecture fondationnelle nourrit l'interprétation réaliste du schéma de robustesse, c'est-à-dire le passage de « X est robuste » à « X est vrai ». Le fragment clé du raisonnement explicité plus haut, à savoir le « ce serait une coïncidence extra-ordinaire, un 'miracle', si les trois dérivations indépendantes aboutissaient chacune au même X *par*

hasard », est un raisonnement systématiquement invoqué, et même le principal argument, en faveur du réalisme scientifique. On parle communément d'« argument du miracle » – même s'il serait plus adéquat de parler d'un argument du « il n'y a pas de miracle » (en anglais : le « no-miracle argument »). Si ce ne peut être « par hasard » ou « par miracle » que l'on a trouvé plusieurs fois X par de multiples dérivations indépendantes (D1, D2 et D3 dans notre exemple), quelle meilleure explication invoquer ? L'explication qui s'impose presque irrésistiblement est que quelque chose 'en dehors de nous' doit avoir participé... Que nous avons atteint quelque élément 'réellement existant' (pré-existant dans la réalité physique indépendamment des êtres humains qui cherchent à la connaître)... Que les courants faibles neutres existent 'objectivement' (ne sont pas des inventions des praticiens des sciences, des élucubrations 'subjectives')... En d'autres termes : des l'énoncé faisant état des courants neutres faibles est (au moins approximativement) *vrai*, que ce qu'il décrit '*correspond*' à ce qui est (vérité-correspondance). Ainsi s'opère le passage de « X est robuste » (i.e., X intervient comme nœud dans un schéma élémentaire prototypique de robustesse) à « X est vrai » (qui est évidemment un énoncé plus fort que le précédent, ce supplément de force épistémique étant marqué par des qualificatifs tels que le « intrinsèquement » du « X est intrinsèquement robuste » invoqué plus haut).

L'équation « X est robuste, donc X est vrai » peut s'interpréter selon deux modalités : soit comme une description des manières usuelles de penser des scientifiques en activité ; soit comme une thèse philosophique. *En tant que description des manières usuelles de penser des scientifiques en activité*, elle apparaît convaincante et assez peu discutable : elle explicite l'un des types d'inférences implicites – et peut-être même le principal – *via* lequel les praticiens des sciences sont portés à tenir certaines propositions pour 'objectives' ou 'vraies', et ce à quoi ces propositions réfèrent pour 'réellement existant'. *En tant que thèse philosophique* en revanche, l'inférence est nettement plus problématique. La question de savoir si le passage de la robustesse à la vérité peut être crédité d'un point de vue philosophique est controversée. Certains, comme William Wimsatt ou Ian Hacking, soutiennent le 'c'est robuste donc c'est vrai' ([Wimsatt 1981], [Wimsatt 2007], [Hacking 1981]), mais d'autres, comme Andrew Pickering, Thomas Nickles ou moi-même ([Pickering 1994], [Nickles 2012], [Soler 2012b]) argumentent contre la légitimité du saut de la robustesse à la vérité-correspondance.

Nous verrons section plus loin (sections 7, 8 et 12) qu'une autre lecture, non fondationnelle, du schéma de robustesse 'trois flèches convergeant sur un nœud' est possible, qui favorise nettement moins l'interprétation réaliste.

4. Analyse du schéma élémentaire prototypique de robustesse. Le schéma élémentaire prototypique de robustesse peut au premier abord sembler offrir une définition simple de la robustesse, et un outil opérant qui permettrait de décider facilement, au cas par cas, si tel ou tel ingrédient des pratiques scientifiques est ou non robuste. A l'examen cependant, la situation est plus complexe qu'il n'y paraît, comme cela va progressivement être mis en évidence au fur et à mesure des réflexions de cette section, consacrées à une analyse du fonctionnement interne du schéma de robustesse et des difficultés associées aux verdicts de robustesse sur la base de la définition de Wimsatt.

A. La robustesse, un statut 'par degrés'. Il est clair que la robustesse du X qui intervient dans le schéma élémentaire de robustesse n'est pas une caractéristique binaire, en tout ou

rien, mais est un statut qui s'acquière 'par degrés'. X n'est pas 'soit robuste soit non robuste' : X est *plus ou moins* robuste. Partant de cette évidence, la question plus délicate qui se pose alors est : de quoi dépend ce 'plus ou moins' ? De quelles variables dépend la robustesse du X qui figure en position de nœud dans un schéma élémentaire prototypique de robustesse ?

B. Compter les flèches. Au premier abord on s'attend, toutes choses égales par ailleurs, à ce que la robustesse d'un énoncé X en position de nœud varie en fonction du nombre de dérivations qui convergent sur ce nœud. L'idée que plus il y a de flèches qui aboutissent au même nœud, plus le nœud est robuste, est tout à fait explicite chez Wimsatt. Elle est en harmonie avec les manières communes de penser des praticiens. L'épisode de la découverte des courants faibles neutres peut être invoqué à titre d'illustration. En 1973, étaient disponibles et publiés *deux* arguments expérimentaux en faveur de l'énoncé « X = existence des courants faibles neutres », tous deux appuyés sur des expériences *visuelles*. Le fait qu'en 1974, ait été développé et publié un argument expérimental *supplémentaire*, basé cette fois sur une expérience *électronique*, en faveur de la même conclusion X, a sans aucun doute *renforcé*, aux yeux des praticiens, la robustesse de X *par rapport* à la situation antérieure.

Évaluer la robustesse d'un nœud X implique donc de compter les dérivations-flèches aboutissant à ce X : la robustesse de X augmente avec le nombre de flèches indépendantes qui convergent sur X. Le nombre de dérivations est par conséquent une première variable dont dépend le degré de robustesse. Mais cette caractérisation s'avère insuffisante, car toutes les flèches n'ont pas forcément le 'même poids'.

C. Peser les flèches et intégrer les arguments défavorables. Toutes les dérivations – par exemple tous les arguments expérimentaux en faveur d'un résultat expérimental – ne sont pas *nécessairement*, et en pratique ne sont *souvent pas*, placées sur le même plan : les praticiens estiment souvent que certaines sont plus fiables ou plus décisives que d'autres. En d'autres termes, ils instaurent entre elles une *hiérarchie*. Il faut donc non seulement compter, mais aussi *peser* les flèches.

Une autre manière d'exprimer le même point est de souligner que la définition « X est robuste = X est invariant sous des déterminations multiples indépendantes », ne vaut que sous la présupposition que les dérivations impliquées (les flèches qui figurent dans le schéma élémentaire de robustesse) sont *d'authentiques* dérivations, c'est-à-dire des arguments *dignes de ce nom*. Imaginons que les flèches du schéma de robustesse représentent des dérivations discutables et discutées, telles par exemple que les célèbres expériences invoquées par Blondlot en faveur de l'existence des rayons N au tout début du XX^e siècle. Ou pire : imaginons qu'elles symbolisent des types de raisonnements considérés par les physiciens contemporains comme 'non scientifiques', tels que : les rayons N existent car Dieu, dans sa toute puissance, ne pouvait s'autolimiter à la gamme restreinte des rayonnements déjà connus. Dans ce cas, les 'dérivations' seront vues comme des 'pseudos-dérivations', c'est-à-dire comme des raisonnements dépourvus de toute force argumentative. Du coup, *même si ces dérivations sont nombreuses et indépendantes les unes des autres*, le statut de résultat robuste sera refusé au nœud X sur lequel elles convergent.

Le cas d'une pseudo-dérivation peut être vu comme un cas particulier et un cas limite de 'pesée' des flèches : un cas dans lequel le poids associé à la flèche-dérivation tend vers zéro. Dans une telle situation, c'est *comme si* la dérivation *n'existait pas*. Ces réflexions

mettent en évidence que les deux variables 'nombre de flèches' et 'poids des flèches' ne sont pas indépendantes. Le nombre de flèches qui figure finalement dans un schéma de robustesse supposé résumer une configuration scientifique et expliquer pourquoi, à tel moment de l'histoire des sciences, une proposition X a été jugée suffisamment robuste pour être acceptée, dépend d'une *évaluation* relative à la *qualité* des dérivations effectivement disponibles – i.e., ayant été avancées par au moins un individu en tant qu'argument en faveur de X – dans la situation historique considérée.

Dans un ordre semblable d'idée, il faut également mentionner le fait, important, que quand on modélise une configuration historique à partir d'un schéma de robustesse du type 'trois flèches convergeant sur un nœud X', et c'est tout, on fait comme si dans la situation historique, *aucun argument défavorable à X n'existait* (ce qui est en fait très rarement le cas), ou encore comme si – ce qui revient en fin de compte exactement au même – les arguments développés en défaveur de X *comptaient pour rien* (avaient un poids nul). En toute rigueur, l'évaluation de la solidité d'un énoncé X devrait être basée sur un bilan intégrant les arguments défavorables à X.

D. La qualité de convergence des dérivations multiples. Le degré de robustesse du X qui intervient dans un schéma de robustesse est également fonction d'une variable 'qualité de convergence des multiples dérivations'. Cet état de choses est masqué par la formulation de Wimsatt, qui définit la robustesse en terme d'*invariance* d'un X vis-à-vis de multiples déterminations, et suggère ainsi que toutes les dérivations indépendantes aboutissent chacune séparément *exactement au même X* (conformément à la lecture fondationnelle du schéma de robustesse telle que représentée figure 3). Or à considérer la réalité de l'histoire des sciences, il est en fait très rare que ce soit le cas. Presque toujours, la situation est la suivante : on a une série de dérivations (disons D1, D2 et D3) qui aboutissent chacune à des conclusions en toute rigueur *différentes* (disons X1, X2 et X3), *mais* que l'on estime conciliables et que l'on synthétise en une seule et unique formulation X ayant vocation à représenter et remplacer X1, X2 et X3 (voir figure 4).

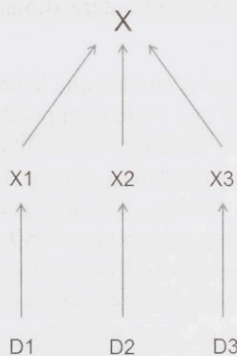


Figure 4 : Version raffinée du schéma élémentaire prototypique de robustesse (dans la représentation flèches-nœuds)

Un exemple apparemment banal et trivial est celui où trois mesures ayant abouti à des résultats numériques en toute rigueur différents X1, X2 et X3, sont synthétisées en, et

remplacées par, un nombre unique X correspondant à leur valeur moyenne (en général comprise comme la 'vraie valeur' de la variable). Le même principe s'applique à des conclusions qualitatives exprimées au moyen de phrases en mots. Ainsi, la formulation retenue plus haut du X en position de nœud, à savoir « X = existence des courants faibles neutres », n'est, telle quelle, nulle part inscrite dans aucune des trois publications scientifiques plus haut référencées qui développent chacune l'une des trois dérivations expérimentales D1, D2 et D3 : chaque article énonce des conclusions plus spécifiques X1, X2 et X3, en toute rigueur non identiques les unes aux autres.

Pour passer des trois résultats *effectivement dérivés*, X1, X2 et X3, à un résultat totalisant *unique X*, un acte de synthèse est impliqué, que j'ai appelé ailleurs une « re-description calibratrice » ([Soler 2012b]). L'acte de synthèse des divers résultats en un résultat unique qui puisse prétendre les représenter tous, peut être, selon les cas, plus ou moins créateur, problématique, évident, ou 'automatique' (pour des exemples de cas créateurs et problématiques d'une part, automatiques et non problématiques d'autre part, voir [Soler et al. et al.. 2012], chapitres 4, 5, 6, 9 et 10). Mais quoi qu'il en soit, un acte de synthèse est quasiment toujours impliqué, et à un tel acte, est suspendue l'affirmation selon laquelle les multiples dérivations aboutissent à la *même* conclusion, laissent *un X invariant*. Dans ces conditions, le lexique de la convergence apparaît plus approprié que celui de l'invariance pour définir la robustesse. Wimsatt l'utilise d'ailleurs parfois, quoique rarement.

E. Evaluer le degré d'indépendance des dérivations entre elles. L'exigence d'une indépendance (partielle) des dérivations convergentes multiples n'est pas simple du tout. Le contenu de l'exigence requiert clarification, et la question de décider si l'exigence est ou non satisfaite dans une situation historique donnée s'avère extrêmement délicate.

Au niveau le plus général, l'idée est la suivante : pour que les N dérivations impliquées dans un schéma de robustesse soient plus fortes *toutes ensemble* que l'une d'entre elles ou une partie d'entre elles, il faut qu'il y ait entre ces dérivations des différences *qui fassent une différence*. La pluralité doit être réelle et non pas illusoire. La pluralité serait illusoire s'il s'avérait après examen que les multiples dérivations étaient en fait *dérivables les unes des autres en un sens ou un autre*.

Cette possibilité indique clairement d'emblée que le nombre de dérivations figurant dans un schéma de robustesse dépend d'une évaluation préalable du degré d'indépendance des dérivations. Si celui qui analyse la situation estime que deux dérivations historiquement disponibles sont suffisamment indépendantes *pour compter comme deux*, il représentera la situation au moyen de deux flèches. S'il les considère en revanche comme *trop semblables* (deux versions du même argument), elles ne compteront pas comme deux et seront représentées par une *unique* flèche. Conclusion : les variables 'degré d'indépendance des flèches' et 'nombre de flèches' ne sont pas indépendantes.

Pour faire un pas dans la clarification de ce que peut signifier l'indépendance, je distinguerai deux types d'indépendance : une indépendance portant sur le *contenu* des dérivations, que je qualifierai de « logico-sémantique » ; et une indépendance portant sur la *genèse historique* des dérivations, que je qualifierai de « historico-génétique ». **L'indépendance des contenus** (en un sens large du terme « contenu » : assomptions, principes, concepts, formes de raisonnement, techniques, etc.) est ce que Wimsatt vise dans sa définition, et ce que presque tous ceux qui réfléchissent à la question de la robustesse mettent au premier plan. L'exigence d'une indépendance logico-sémantique,

requière que les dérivations ne soient pas logiquement déductibles les unes des autres, et plus généralement que les contenus communs soient réduits au minimum.

Une analyse fine du contenu des diverses dérivations impliquées dans un schéma de robustesse peut révéler ce que Wimsatt appelle des « illusions de robustesse » (pour un exemple d'illusion de robustesse identifiée par Wimsatt au sein de la biologie de son temps, voir [Wimsatt 1981], section « Robustness, Independence, and Pseudorobustness:

A Case Study »). L'analyste découvre que les multiples dérivations convergentes sur la base desquelles un X a été tenu pour robuste recourent en fait toutes à des assumptions communes jusqu'alors passées inaperçues. Dès lors, la convergence apparaît rétrospectivement comme un artefact produit par les points communs non reconnus existant entre les dérivations. L'apparente pluralité initiale des dérivations se réduit en fin de compte à l'unité, et la robustesse antérieurement attribuée au X est récusée, dénoncée rétrospectivement comme une illusion.

L'indépendance historico-génétique des dérivations est, elle, rarement identifiée, et *a fortiori* rarement discutée. Supposons qu'après comparaison des contenus des multiples dérivations impliquées dans un schéma de robustesse, l'analyste des sciences ait conclu à une indépendance suffisante sur le plan logico-sémantique. Cela laisse encore ouverte la question de savoir si d'un point de vue historique, dans la séquence dynamique effective des pratiques scientifiques, ces dérivations ont été ou non *générées indépendamment* l'une de l'autre. L'exigence est cette fois la suivante : les N événements 'développement historique de N arguments en faveur de X' (dans notre exemple : de D1, D2, et D3) doivent être des événements suffisamment isolés les uns des autres ; ils ne doivent pas avoir été causés ou influencés les uns par les autres ; ils ne doivent pas se trouver dans un rapport d'engendrement les uns vis-à-vis des autres.

Au total, l'évaluation d'un degré de robustesse se laisse, d'un point de vue analytique, décomposer en quatre sous-évaluations non indépendantes :

X est (plus ou moins) robuste = un (plus ou moins) grand nombre de (plus ou moins bonnes) dérivations (plus ou moins fortement) indépendantes convergent (plus ou moins bien) sur X.

5. Donner sens à la possibilité d'une dépendance historico-génétique

L'idée d'une dépendance historico-génétique n'étant presque jamais considérée dans le contexte des discussions relatives à la robustesse, ses conséquences épistémologiques s'avérant cruciales, et les manières dont cette idée est susceptible de s'incarner historiquement n'ayant rien d'évident, il ne paraît pas inutile d'en dire un peu plus à son propos. J'invoquerai ici une possibilité de dépendance historico-génétique qui, en plus d'aider à mieux comprendre l'idée, permettra aussi, *in fine* section 12, de donner corps à l'interprétation contingentiste du schéma de robustesse. Cette possibilité sera encore une fois illustrée au moyen de l'épisode de la découverte des courants faibles neutres, en s'inspirant d'un compte rendu de cet épisode proposé par Andrew Pickering dans *Constructing Quarks* [Pickering 1984].

Commençons par quelques données historiques non controversées. Chronologiquement, ce sont d'abord les expérimentateurs visuels qui ont tiré une conclusion déterminée de leur séquence expérimentale, en l'occurrence qui ont apporté une réponse positive à la

question de la détection expérimentale des courants faibles neutres et ont publié un argument expérimental en faveur du 'oui' [Hasert et al. 1973a]. Dans un second temps, les expérimentateurs électroniques sont, à leur tour, parvenus à une conclusion convergente, et ont alors à leur tour publié un argument expérimental (notamment différent en termes de contenu, puisque basé sur des techniques de détections très différentes) en faveur du 'oui' [Benvenuti 1974]. Ces deux événements sont-ils empiriquement indépendants ? Dans l'analyse proposée par Pickering, il y a de bonnes raisons de conclure qu'ils ne le sont pas.

L'idée est en substance la suivante. De nombreuses interactions existaient entre les expérimentateurs impliqués dans les expériences visuelles d'une part et les expériences électroniques d'autre part. Le fait qu'un 'oui' ait *d'abord* été associé à la question de la détection expérimentale des courants faibles neutres par les expérimentateurs visuels n'est *pas indifférent* du point de vue de la réponse *ensuite* apportée par les expérimentateurs électroniques à la même question : ayant connaissance de la conclusion positive de leurs collègues, ils n'ont pas travaillé de la même manière que si elle n'avait pas existé.

Pour bien se représenter la situation et pouvoir accorder quelque plausibilité à l'idée précédente, il faut prendre acte que les expériences en question (comme la plupart des expériences contemporaines en physique) sont extrêmement complexes, et que leur interprétation fait toujours intervenir *un très grand nombre* d'hypothèses, d'idéalisations et d'approximations pas complètement assurées. Quand donc on a des raisons de penser, vis-à-vis d'une question scientifique déterminée, qu'une réponse positive est plus plausible qu'une réponse négative, ou encore quand on a des raisons de soupçonner qu'une conclusion expérimentale différente de celle que l'on a cru devoir tirer dans un premier temps est peut-être la bonne, il est toujours possible de questionner l'adéquation de l'une ou plusieurs des très nombreuses hypothèses, idéalisations et approximations mises en jeu dans l'interprétation initiale (de recourir par exemple à d'autres techniques d'analyse des données, etc.). Dans les termes de Pickering, l'activité expérimentale présente une certaine « plasticité », une « flexibilité interprétative » non négligeable (cette affirmation pouvant être considérée comme une version 'étendue' de la fameuse thèse Duhem-Quine, cf. [Soler 2009], chapitre 9).

Or c'est précisément la situation dans laquelle se trouvèrent les expérimentateurs électroniques d'après Pickering. Plus précisément, à examiner les détails du processus historique, il s'avère que les expérimentateurs électroniques, dans les mois qui précédèrent la publication de leur article de 1974 concluant au 'oui', étaient arrivés à la conclusion opposée, soit à un 'non'. Ils ne publièrent pourtant pas ce résultat et l'argument correspondant. Car ils savaient que les expérimentateurs visuels avaient, quelques mois plus tôt, publié une conclusion opposée (de telle sorte que tous s'accordaient sur la nécessité que l'une des deux équipes se trompe). En outre, il faut ajouter qu'en l'occurrence, le 'oui' et le 'non' n'étaient pas, aux yeux des divers scientifiques impliqués, investis des mêmes espoirs : comme suggéré très allusivement section 2, le 'oui' se trouvait associé à une promesse d'unification des forces fondamentales de la physique. Une telle perspective, toujours hautement désirée par les physiciens, avait été à l'origine du fait que la question des courants faibles neutres était devenue une priorité au début des années 70, et avait constitué la motivation première de l'effectuation des expériences visuelles et électroniques. Au total, le 'oui' faisait donc pour tous figure d'option favorisée. Bien entendu, cela n'implique absolument pas qu'une

manière de créditer le 'oui' allait forcément être obtenue (en aucun cas la plasticité n'implique que les scientifiques peuvent adopter n'importe quelle hypothèse 'à volonté' : rien ne garantit que les solutions favorisées seront effectivement trouvées ; la plasticité signifie seulement que les contraintes présentes dans la situation ne sont pas assez fortes pour imposer une solution unique). En revanche, cela conditionne fortement la direction dans laquelle les solutions vont être recherchées. Dans l'épisode historique considéré, de fait, les expérimentateurs visuels réinterrogèrent leur expérience et son interprétation, et maintinrent leur 'oui'. De leur côté, les expérimentateurs électroniques recherchèrent des manières de modifier et de réinterpréter leur expérience qui soient conciliables avec un 'oui', et ils y parvinrent.

Sous l'hypothèse d'une certaine flexibilité interprétative, il devient plausible que l'événement, en lui-même parfaitement contingent, qu'un 'oui' ait été initialement apporté à une question scientifique et publié, ne soit pas sans incidence sur la suite de l'histoire – en l'occurrence sur la manière dont les expérimentateurs électroniques ont travaillé ensuite, sur les types de solutions qu'ils ont privilégiées et activement recherchées. A titre de cas limite, on conçoit que *si, historiquement, l'expérience visuelle n'avait pas été effectuée* – circonstance que rien n'interdit évidemment, et certainement pas 'ce qu'est la réalité physique' –, les expérimentateurs électroniques auraient pu, tout à fait légitimement, s'arrêter à leur conclusion négative initiale et publier ce résultat – dans la mesure où aucun élément extérieur à leur pratique ne les aurait incité à douter d'une telle conclusion (et compte tenu de plus, d'une part des incitations à publier rapidement qui pèsent sur la recherche, d'autre part du fait que des expériences aussi coûteuses ne sauraient être prolongées que 'si le besoin s'en fait vraiment sentir').

Une telle analyse permet de donner sens à l'idée d'une dépendance génétique entre deux couples 'dérivation expérimentale-résultat expérimental dérivé' D1-X et D2-X. L'idée est que la maturation du processus d'investigation conduit par les expérimentateurs électroniques a été influencée par une circonstance historique extérieure et contingente, à savoir la préexistence d'une dérivation en faveur du 'oui'. Cette circonstance contingente joue ici comme une sorte d'"inducteur de convergence" (de même que l'existence d'une théorie prometteuse prédisant l'existence des courants faibles neutres). Si la réponse 'oui' n'avait pas préexisté (ou si d'autres théories prometteuses prédisant la non existence avaient été développées à l'époque), peut-être que les expérimentateurs électroniques se seraient arrêtés à leur première conclusion négative et auraient publié ce résultat. En appliquant le même principe que pour la réponse 'oui', on peut imaginer que d'autres expériences immédiatement postérieures, recherchant la convergence, aient confirmé le 'non'. Dans ce cas, la réponse 'non' aurait été estimée expérimentalement établie (en l'état-du-développement-scientifique-et-jusqu'à-nouvel-ordre-bien-entendu). La physique aurait alors continué à se développer en prenant la non existence des courants faibles neutres comme un fait expérimental, et corrélativement, en considérant comme plausibles des théories différentes de celle de Weinberg-Salam, en érigeant comme intéressantes et prioritaires d'autres questions que celles qui succédèrent au 'oui' dans l'histoire de notre science, etc.

Une telle analyse indique une voie par laquelle la contingence est susceptible de s'introduire dans le tableau. Elle montre comment des circonstances contingentes (qui auraient pu être autres, le monde physique restant le même) pourraient conduire, à un moment donné de l'histoire des sciences, à adopter une conclusion scientifique incompatible avec celle qui a été historiquement retenue, et de manière étroitement liée, à

créditer d'autres théories et à poser d'autres questions que celles qui dominèrent dans l'histoire réelle des sciences.

6. Statut et valeur du schéma de robustesse vis-à-vis des pratiques scientifiques. Nous sommes parvenus en fin de section 4. à la conclusion selon laquelle le schéma de robustesse devait se lire de la manière suivante : X est (plus ou moins) robuste = un (plus ou moins) grand nombre de (plus ou moins bonnes) dérivations (plus ou moins fortement) indépendantes convergent (plus ou moins bien) sur X. Mais quel est exactement le rapport entre le schéma flèches-nœud de robustesse et la réalité des pratiques scientifiques ?

Un schéma de robustesse est le produit émergent d'une analyse évaluative, et certainement pas un double de la situation historique qui s'imposerait de manière identique et non problématique à tout analyste des sciences (historien des sciences, philosophe des sciences, sociologue des sciences, etc.). L'analyse évaluative en question implique théoriquement l'ensemble des évaluations répertoriées section 4. Ces évaluations s'édifient sur fond de certaines *normes collectives de scientificité* en vigueur dans un contexte social donné (à propos de ce qu'est une explication ou une preuve scientifiques dignes de ce nom par opposition à un raisonnement pseudo-scientifique ou non scientifique), normes qui, comme le savent bien les historiens des sciences, ne sont *pas invariantes* au cours de l'histoire des sciences. Corrélativement, ces évaluations mettent en jeu divers *jugements individuels* de l'analyste – celui qui vise à caractériser une situation historique à partir d'un schéma de robustesse –, à propos de la force relative des multiples arguments qui ont été historiquement émis en faveur et en défaveur de X, à propos du degré d'indépendance de ces arguments, et à propos de la qualité de convergence de leurs conclusions respectives... Tout cela déterminant au bilan le nombre de flèches qui figureront dans le schéma de robustesse finalement proposé par l'analyste. Dans la mesure où ces jugements individuels ne sont *pas toujours uniformes* – pas toujours identiques d'un analyste à l'autre –, un schéma de robustesse n'est pas tel quel imposé de manière unique par la réalité des pratiques scientifiques. Différents historiens ou philosophes ou sociologues des sciences peuvent diverger à propos de l'adéquation de représenter tel ou tel épisode historique par tel ou tel schéma de robustesse.

Par ailleurs, une fois que l'on a pris acte de tous les 'plus ou moins' qui interviennent dans la définition d'un degré de robustesse et que l'on a souligné que les individus (scientifiques et analystes des sciences) peuvent diverger au niveau de chacune de ces évaluations comme au niveau de leur bilan, on s'aperçoit que **l'analyse plus haut proposée du schéma de robustesse ne saurait servir de base pour définir la mesure d'un quelconque 'degré objectif de robustesse'**. A l'inverse, l'analyse indique l'impossibilité de déterminer un 'seuil objectif de robustesse' au-delà duquel un X en position de nœud devrait être reconnu robuste, et en deçà duquel il devrait être considéré comme fragile. L'analyste des sciences qui prétendrait instituer pour un nœud X, à un moment donné de l'histoire des sciences, un seuil de robustesse en droit universellement contraignant à partir duquel il serait irrationnel de ne pas assumer que X est robuste, adopterait une posture dictatoriale appuyée sur une décision largement conventionnelle. Aucun point de bascule ne saurait donc être prescrit 'de l'extérieur' et 'en droit' aux praticiens, dont les estimations de robustesse s'avèrent en fait souvent variables d'un scientifique à l'autre.

Ces réflexions permettent de préciser le statut et la valeur du schéma de robustesse. Le schéma de robustesse, et l'analyse en termes d'évaluations par degrés proposée section 4, sont des outils analytiques à valeur clarificatrice. Rien de moins, mais rien de plus : le schéma ne saurait en aucune manière s'identifier à un algorithme à solution unique permettant de calculer des degrés de robustesse et d'indiquer quoi que ce soit qui s'apparente à un seuil universel de robustesse.

7. Une expérience de pensée pour introduire la lecture symbiotique du schéma de robustesse. La lecture fondationnelle et réaliste du schéma de robustesse 'trois flèches convergeant sur un nœud X' se développe à partir de présupposés assez forts, notamment ceux de la solidité et de l'indépendance des dérivations. Mais comme on l'a vu section 4, ces conditions ne sont pas nécessairement vérifiées en pratique dans une situation historique donnée. Se pose alors la question : la structure élémentaire de robustesse 'trois dérivations convergeant sur un X' est-elle dépourvue de valeur quand ces conditions ne sont pas ou ne sont qu'en partie satisfaites ?

En vue d'explorer cette question, livrons-nous à **une expérience de pensée**, assimilable à un exercice artificiel mais néanmoins *in fine* instructif. Imaginons qu'une proposition scientifique X ait, à un moment de l'histoire des sciences, été émise par des physiciens sur le mode hypothétique : X apparaît à ce stade très problématique, douteuse, bref fragile. Supposons de plus qu'au cours de l'histoire ultérieure, trois dérivations de X de contenus intuitivement différents, D1, D2 et D3, en viennent à être proposées, qui soient telles que chacune, considérée séparément des deux autres, apparaisse fragile – basée sur des hypothèses, des techniques et des méthodes discutées et douteuses – mais cependant pas au point que D1, D2 et D3 comptent strictement pour rien. Imposons enfin pour les besoins du raisonnement la condition, complètement artificielle mais intellectuellement commode, que les quatre éléments X, D1, D2 et D3 considérés isolément les uns des autres – c'est-à-dire X considéré au moment de sa première émission alors que D1, D2 et D3 n'avaient pas encore été développées, la dérivation D1 de X considérée du point de vue de celui qui ne connaîtrait ni D2 ni D3, la dérivation D2 de X considérée du point de vue de celui qui ne connaîtrait ni D1 ni D3, et la dérivation D3 de X considérée du point de vue de celui qui ne connaîtrait ni D1 ni D2 – soient tous quatre *également* fragiles.

Telles sont les 'conditions initiales' correspondant à notre expérience de pensée et les seuls présupposés qui conditionnent la lecture : les quatre éléments X, D1, D2 et D3 ont mêmes 'valeurs de solidité' initiales (expression forgée par analogie avec l'expression classique de « valeurs de vérité ») ; et les trois dérivations scientifiques D1, D2 et D3 présentent des différences. Que se passe-t-il, et qu'advient-il à titre de 'conditions finales', lorsque les quatre éléments initialement fragiles X, D1, D2 et D3 se trouvent réunis et articulés conformément à la structure d'un schéma prototypique de robustesse ?

Ce qui advient (par exemple du point de vue d'un scientifique qui, n'ayant jusque là connaissance que de D1, découvrirait que d'autres scientifiques ont développé D2 et D3), c'est que la robustesse de X, la solidité de D1, la solidité de D2, et la solidité de D3, se trouvent *mutuellement et également renforcées*, du fait de la configuration d'ensemble au sein de laquelle X, D1, D2 et D3 se trouvent impliqués. Bien que, 'au départ' (avant articulation des quatre éléments selon la structure du schéma de robustesse), aucun d'eux considéré isolément n'était solide, chacun et tous acquièrent de la solidité *du fait de leur jonction dans un réseau pourvu d'une telle structure*. Au sein de la structure à quatre

termes, la solidité est co-constituée : on a un équilibre holistique (du terme grec *holos*, le tout) homogène (du fait de l'homogénéité de la distribution initiale des valeurs de solidité).

Dans une telle configuration, le caractère holistique des attributions de robustesse est manifeste : les parties (X, D1, D2 et D3) acquièrent leur solidité du fait qu'elles interviennent au sein d'un tout pourvu d'une certaine structure. Alors même *qu'aucun des constituants du schéma à quatre éléments n'est solide au départ*, tous le deviennent (ou au moins : gagnent en solidité) dès lors qu'ils se trouvent réunis et articulés selon la structure du schéma de robustesse. C'est précisément en vue de mettre en évidence la *contribution du tout* vis-à-vis de la solidité *des parties*, qu'a été invoqué le cas artificiel de quatre ingrédients d'abord affublés de 'valeurs de solidité' initiales faibles et égales, puis articulés conformément à la structure d'un schéma de robustesse afin d'examiner ce qui en résulte du point de vue des attributions de solidité. Dans une telle configuration, on est porté à une lecture du schéma 'trois flèches-un nœud' que je qualifierai de « symbiotique » (terme emprunté aux écrits de Pickering, sur la signification duquel nous reviendrons en conclusion, section 12) : c'est la symbiose entre de multiples éléments (ici une symbiose homogène du fait de l'identité des valeurs initiales de solidité) qui apparaît pourvoyeuse de robustesse.

8. Retour sur la lecture fondationnelle du schéma de robustesse à la lumière de la lecture symbiotique. Le schéma 'trois flèches convergeant sur un nœud X' peut se lire d'au moins deux manières : selon la lecture fondationnelle, trois dérivations D1, D2 et D3 fondent la robustesse de X ; selon la lecture symbiotique, la solidité des quatre éléments X, D1, D2 et D3 est co-constituée comme effet de leur bonne symbiose. Au premier abord et intuitivement, on a le sentiment d'avoir affaire à deux situations de natures différentes. Pourtant, l'exercice artificiel proposé à la section précédente, qui consiste à 'jouer' avec les valeurs de solidité initiales et à examiner les lectures résultantes du schéma, peut conduire à atténuer ce sentiment, en attirant l'attention sur le fait que la principale différence entre les deux situations réside dans la *distribution initiale* des valeurs de solidité : valeurs identiques et également faibles dans le cas symbiotique ; valeurs contrastées à l'extrême, élevées pour les trois dérivations et faible pour le nœud X, dans le cas fondationnel. Cette différence initiale induit 'secondairement' des différences au niveau des 'flux de robustesse' qui surviennent lorsqu'on met en scène la réunion des quatre ingrédients au sein de la structure correspondant au schéma de robustesse. A partir de la situation d'équipartition, les flux de robustesse après articulation se 'répandent' en tout sens, symétriquement et avec la même intensité, entre les quatre ingrédients de la structure de robustesse (chaque ingrédient contribue également à l'augmentation de la solidité de tous les autres). A partir de la distribution bipolaire flèches(+)-nœud(-) correspondant à la lecture fondationnelle, en revanche, les flux de robustesse ont lieu en sens unique et seulement 'de bas en haut', c'est-à-dire des flèches-dérivations initialement solides (+) vers le nœud X initialement fragile (-). On est alors incité intuitivement à interpréter le schéma à partir de la métaphore architecturale de la fondation : à le voir comme une architecture stratifiée comprenant deux étages *hiérarchisés*, c'est-à-dire comme une architecture dans laquelle la possibilité de construire l'étage supérieur (l'énoncé X) *présuppose* l'existence de l'étage inférieur (les théories, techniques et méthodes mobilisées dans les trois dérivations) et dans laquelle la robustesse de l'étage supérieur *repose sur* la solidité de l'étage inférieur assimilé à sa base

fondationnelle, tandis que l'étage inférieur, de son côté, est pensé comme une entité *autonome* dont l'existence et la solidité sont indépendantes de l'édification d'éventuels étages supérieurs.

Cependant, malgré le fait que des images différentes sont associées à la lecture fondationnelle d'une part et à la lecture symbiotique-homogène d'autre part (structure hiérarchique d'une construction à étages / espace homogène), **la configuration fondationnelle peut, elle aussi, être caractérisée comme un équilibre holistique ou comme une symbiose**. Seulement, c'est un équilibre holistique *différemment coefficienté* que celui de la symbiose *homogène* : c'est un équilibre *hétérogène* d'un type *bien particulier* (qui sera désigné comme « type bipolaire flèches(+)-nœud(-) »). En généralisant, on peut générer par la pensée de nombreux autres cas de symbioses 'intermédiaires', situés entre celui la symbiose parfaitement homogène et celui de la configuration fondationnelle bipolaire (par exemple : deux dérivations initialement solides et une dérivation initialement fragile convergent sur un X initialement robuste). Nous laissons faute de place au lecteur le soin de se livrer à l'exercice d'examiner les lectures du schéma de robustesse qui résultent d'autres distributions initiales de solidité. Si le cas de l'équilibre *parfaitement homogène* a été *d'abord* été mis au premier plan section 7, c'est parce qu'il est le plus apte à mettre en évidence ce qui reste occulté ou difficilement visible quand on s'en tient à raisonner sur le cas 'classique' de la distribution bipolaire flèches(+)-nœud(-) qui sous-tend plus ou moins explicitement la compréhension commune de la robustesse ainsi que la définition de Wimsatt elle-même : à savoir, le fonctionnement symbiotique de *tout* schéma de robustesse 'flèches multiples convergeant sur un nœud' (y compris de la configuration fondationnelle). Conclusion : les attributions de solidité résultent toujours d'un équilibre holistique (différemment coefficienté selon les cas), au sens où la valeur de solidité d'un élément dépend des valeurs de solidité des autres éléments co-présents et liés à lui dans la structure.

Nous avons jusqu'à présent raisonné sur une structure simple à quatre éléments, dite « élémentaire » et « prototypique », constituée de trois flèches convergeant sur un nœud. Mais les situations réelles sont rarement aussi simples ; ou plus exactement – car il ne faut jamais oublier que le schéma de robustesse, loin de s'identifier à un double du réel, est une *modélisation* des situations réelles *tributaire*, comme on l'a vu section 4, de multiples évaluations et décisions de la part de l'analyste des sciences qui le propose –, **les situations réelles apparaissent rarement adéquatement représentables à partir d'un schéma de robustesse élémentaire et prototypique**.

Il est impossible de justifier ce point ici. Pour des arguments et de nombreuses illustrations, nous renvoyons le lecteur à [Soler et al.. 2012]. Afin de donner quelque idée des types de décalages que sont susceptibles de manifester les configurations réelles par rapport au schéma élémentaire prototypique de robustesse, on peut indiquer, par exemple, que le nombre de *trois* dérivations, conventionnellement associé plus haut au schéma *élémentaire*, peut apparaître insuffisant pour conclure à la robustesse d'une hypothèse scientifique (voir la contribution de Catherine Dufour, *op. cit.*, chapitre 6, pour un cas où plus d'une trentaine de dérivations expérimentales sont favorables à une certaine hypothèse physique mais où celle-ci continue d'apparaître insuffisamment robuste à certains praticiens). Corrélativement, il arrive bien souvent que des schémas présentant une structure plus complexe que la structure dite « prototypique » de robustesse (flèches multiples convergeant *toutes* sur un nœud *unique*) soient impliqués (pour un exemple, voir *op. cit.*, le chapitre 4 de Emiliano Trizio, notamment la figure 4.4, qui propose un

schéma non prototypique faisant intervenir plusieurs nœuds solidaires représentant des propositions logiquement liées, auxquelles aboutissent respectivement plusieurs groupes de flèches).

Conclusion : à un moment donné du développement scientifique, dans une 'coupe synchronique' d'histoire des sciences, un élément donné des pratiques scientifiques tient sa robustesse de sa situation au sein d'un réseau qui est en général, d'une part plus étendu que celui du schéma élémentaire de robustesse, et d'autre part plus complexe que la structure prototypique du schéma de robustesse.

9. Corrélât empirique et origine des valeurs 'initiales' de robustesse. En ce point, la question qui s'impose presque inévitablement dès lors que le problème a été posé comme il vient de l'être, est la suivante : *quid* de l'origine des valeurs de solidité 'initialement' associées aux ingrédients, considérés isolément, d'un schéma de robustesse ? Dans l'expérience de pensée, on a, par décret, fixé ces valeurs comme 'également faibles' ; dans la lecture fondationnelle, on assume avoir affaire 'au départ' à trois dérivations intrinsèquement solides considérées une à une, et à un X fragile indépendamment d'elles... Mais *dans les pratiques scientifiques réelles*, à quoi donc peut-on rapporter ces valeurs initiales de robustesse ? Qu'est-ce qui, dans une 'coupe synchronique' d'histoire des sciences, conduit les praticiens à tenir pour déjà-robuste, ou au contraire pour fragile, telle description du monde ou telle procédure ?

A cette question, **la réponse** semble devoir être la suivante : à un moment donné quelconque de l'histoire des sciences assimilable vis-à-vis de la suite de la trajectoire à un moment 'initial', la valeur de robustesse d'un ingrédient considéré 'en lui-même' tient à son histoire *passée*, ou plus précisément, aux symbioses scientifiques dans lesquelles cet ingrédient s'est trouvé impliqué par le passé. Un élément des pratiques scientifiques qui, à un moment donné de l'histoire des sciences, est tenu pour 'en lui-même solide' et utilisé tel quel sans plus de discussion ni justification, qu'il s'agisse d'un fait supposé établi ou d'une procédure supposée fiable, a forcément acquis ce statut au cours de l'histoire des sciences antérieure par des processus structurellement de même type que ceux, analysés plus haut, qui ont cours dans le présent.

Raisonnons tout d'abord sur le **cas d'une proposition X ayant valeur de fait scientifique à un moment t de l'histoire des sciences**. Si un tel X est, *dans le présent à t* , tenu pour un fait scientifique incontesté, c'est, typiquement, parce que par le passé, de multiples dérivations indépendantes estimées solides ont convergé sur lui : c'est parce que, *par le passé*, il s'est trouvé au cœur d'une symbiose scientifique du type 'schéma de robustesse' (ou au cœur d'un équilibre holistique plus complexe de structure moins prototypique). Toute proposition scientifique X qui apparaît dans le présent 'intrinsèquement robuste', l'est en vertu d'équilibres holistiques passés que l'on se permet d'oublier dans le présent, par un processus de 'détachement pratique' absolument nécessaire à l'avancée de la science (car on ne peut pas passer son temps à tout re-discuter et re-vérifier sans cesse).

Passons maintenant du **cas d'une procédure D ayant valeur de méthode scientifique solide à un moment t de l'histoire des sciences**. Comment D a-t-elle acquis ce statut ? La réponse est moins immédiate que dans le cas d'une proposition X, du fait que le schéma de robustesse sur lequel nous avons raisonné jusqu'ici en prenant la définition de Wimsatt comme point de départ est, comme on l'a vu, *centré sur* la robustesse des

propositions étant assumée la *solidité des dérivations*. En d'autres termes, les réflexions traditionnelles sur la robustesse n'interrogent pas vraiment la *solidité des dérivations*. Et pourtant la question doit être posée, puisque dans le cadre traditionnel, la robustesse des propositions est suspendue à la *solidité des dérivations*.

10. Analyse de la solidité d'une dérivation. Quand des praticiens des sciences estiment, à un moment *t* de l'histoire des sciences, qu'une dérivation *D* est solide, de quoi sont fait ces jugements, à quoi tiennent-ils, d'où sortent-ils ? Comment une procédure acquière-t-elle de la solidité, comment en vient-elle à être estimée fiable sur une ligne diachronique ?

A. **Une partie de la réponse réside sans aucun doute dans une sorte de réciproque de la robustesse à la Wimsatt** (c'est-à-dire du schéma flèches-noeud interprété selon la métaphore fondationnelle, sur la base d'une distribution initiale de valeurs de solidité correspondant à la distribution bipolaire flèches(+)-noeud(-)) : une procédure apparaîtra d'autant plus solide qu'on peut dériver grâce à elle un maximum de résultats indépendants déjà-tenus-pour-robustes, disons $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ (situation qu'on peut caractériser comme une distribution bipolaire flèche(-)-noeuds(+)). Par exemple, une méthode expérimentale nouvelle apparaîtra d'autant plus fiable qu'elle permet de retrouver un plus grand nombre de faits expérimentaux déjà établis sur d'autres bases.

Cette réponse ne nous entraîne-t-elle pas dans un cercle ? Sans aucun doute. Mais le cercle est-il forcément vicieux ? Pour tenter d'échapper au caractère vicieux de la circularité, on peut souligner que les méthodes et les résultats qui jouent le rôle de 'pourvoyeur de solidité' d'un côté, et d' 'acquéreur de solidité' de l'autre, ne sont pas les mêmes. Les méthodes déjà solides servent de base pour établir la solidité de *nouveaux* résultats, et les résultats déjà robustes servent de base pour établir la solidité de *nouvelles* méthodes. On a donc, plutôt qu'un cercle, quelque chose comme un hélicoïde. Néanmoins, même si l'on estime cet hélicoïde non vicieux, on entrevoit déjà, comme on y reviendra plus bas, qu'on se trouve engagé dans une remontée sans fin le long de l'axe du temps de l'histoire des sciences, le 'nouvellement institué comme solide' renvoyant toujours à de 'l'anciennement institué comme solide', et ainsi de suite. Toute analyse de solidité appliquée à une époque donnée renverra toujours à une autre analyse de solidité appliquée à une époque antérieure, et ainsi de suite dans une régression temporelle sans fin. Du point de vue des enjeux épistémologiques, ces réflexions en termes d'hélicoïde sans fin font naître un soupçon qui nous ramène par une autre voie à la question cruciale, déjà croisée plus haut, de la contingence : le soupçon que *l'ordre historique* pourrait être moins indifférent qu'on ne le pense communément, que la science pourrait être *constitutivement* 'chemin-dépendante'. La question est : peut-on vraiment s'affranchir de l'ordre effectif de la succession temporelle des événements de notre histoire des sciences, et considérer, comme on l'assume couramment, que certains au moins de nos résultats scientifiques robustes sont *autonomes par rapport à cet ordre*, étaient en un sens *inévitables indépendamment de cet ordre* (typiquement : en raison de 'ce qu'est l'objet d'étude', par exemple le monde physique) ? Nous reviendrons sur cette question section 12. Auparavant, poursuivons l'investigation de la manière dont une procédure est susceptible d'acquérir de la solidité.

B. **Les éléments de réponse qui viennent d'être proposés** en termes de réciproque du schéma de robustesse version fondationnelle, quoique valides, **laissent insatisfait**.

Intuitivement, on a l'impression que rendre compte de la solidité d'une procédure D en invoquant les résultats Xis tenus-pour-déjà-robustes que D permet de dériver ne saurait suffire. Intuitivement, cette explication apparaît trop 'extrinsèque' à la procédure D dont la solidité est discutée, dans la mesure où l'explication recourt à des *circonstances historiques contingentes, extérieures* à D et *contingentes par rapport au contenu de D* – à savoir, au développement historique de l'ensemble des méthodes ayant historiquement été impliquées dans l'établissement de la robustesse des Xis tenus-pour-déjà-robustes. Intuitivement, on voudrait, et on s'attend à pouvoir rapporter la solidité d'une procédure à certaines propriétés 'internes' de cette procédure, à des caractéristiques plus 'intrinsèques' vis-à-vis du contenu de D. Ce serait la **seconde partie de la réponse à la question de la solidité d'une dérivation**. Qu'en est-il de ces caractéristiques intrinsèques ? Pour répondre à cette question, il faut ouvrir la 'boîte noire' correspondant à une flèche-dérivation, en vue de scruter de quoi est faite la dérivation ainsi représentée et ce qui lui confère sa solidité 'de l'intérieur'. Dans certains de mes travaux ([Soler 2012b], [Soler 201X]), j'ai exploré cette question, encore une fois sur le cas particulier de la découverte des courants faibles neutres, en ouvrant la boîte noire de l'une des 'preuves expérimentales' en faveur des courants faibles neutres, en l'occurrence la dérivation D1. Les conclusions sont difficiles à résumer en quelques mots, mais la figure 5 propose une caractérisation structurale schématique de ce qu'on trouve à 'l'intérieur' de D1.

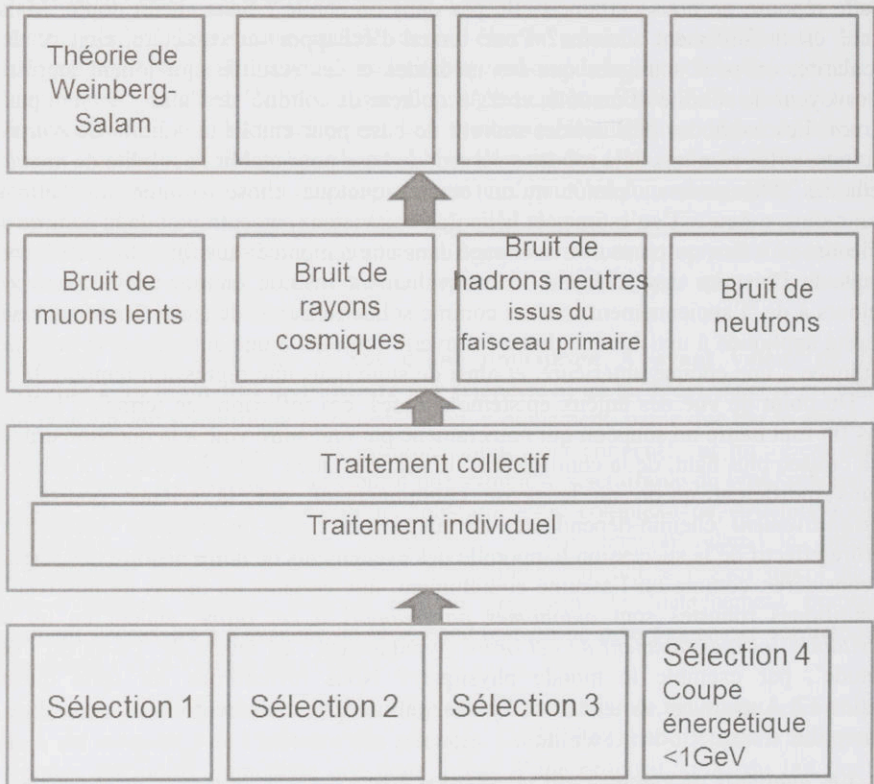


Figure 5 : Représentation schématique modulaire de D1

Quand on 'zoome' sur une flèche, ce sur quoi l'on tombe peut être représenté par une architecture modulaire complexe (la figure 5 est déjà une représentation très simplifiée qui ignore des pans entiers de l'argument publié). Un module symbolise une investigation relativement autonome. Il est individué et défini comme unité modulaire à partir de son but, c'est-à-dire à partir de la question à laquelle il vise à répondre. La réponse finalement apportée à la question est identifiée à la 'sortie' du module. L'argument expérimental tout entier peut être vu comme un grand module englobant visant à répondre à la question de la détection expérimentale des courants faibles neutres (et apportant une réponse positive en sortie de module). Cette question de la détection expérimentale des courants faibles neutres se laisse décomposer en sous-questions (représentées par des sous-modules) dont les réponses (inscrites comme sorties de chaque sous-module) sont articulées entre elles d'une certaine manière. On a des enchâssements de modules, les modules les plus intérieurs établissant des résultats qui sont ensuite utilisés comme des données et des points de départ pour d'autres investigations, lesquelles établissent sur ces bases à leur tour d'autres résultats qui sont pris comme données pour de nouvelles investigations, et ainsi de suite.

Dans la représentation modulaire qui remplace la flèche par le module, les schémas élémentaires prototypiques de robustesse sont matérialisés (voir figure 6) par trois sous-modules parallèles dont les trois sorties X1, X2 et X3 sont synthétisées en une conclusion totalisante X figurant comme sortie du module englobant.

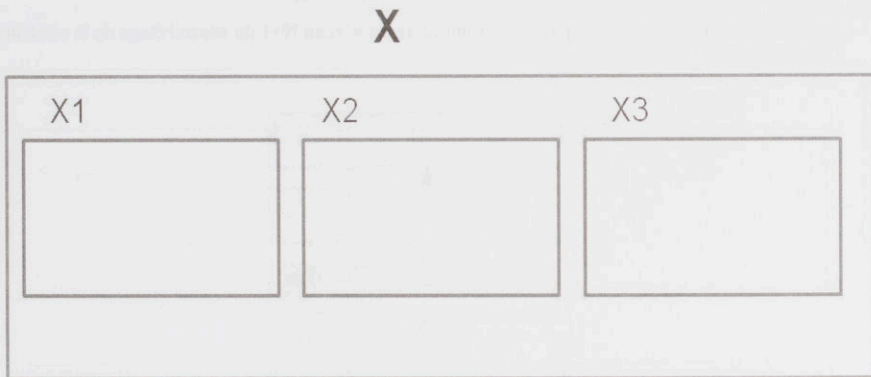
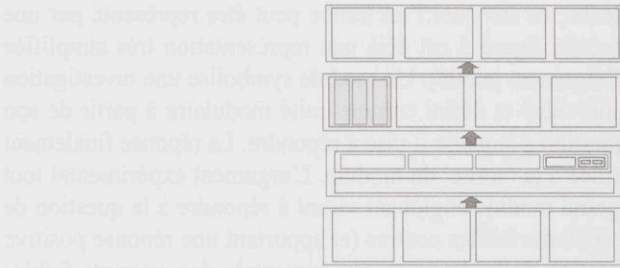
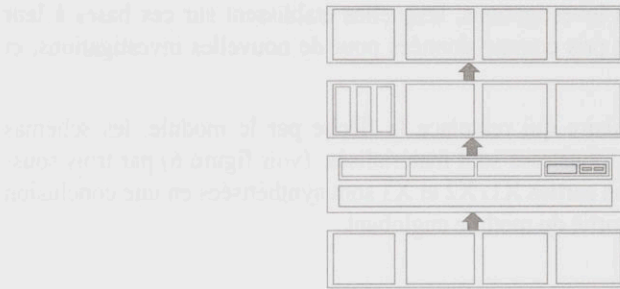


Figure 6 : Le schéma élémentaire de robustesse dans la représentation modulaire

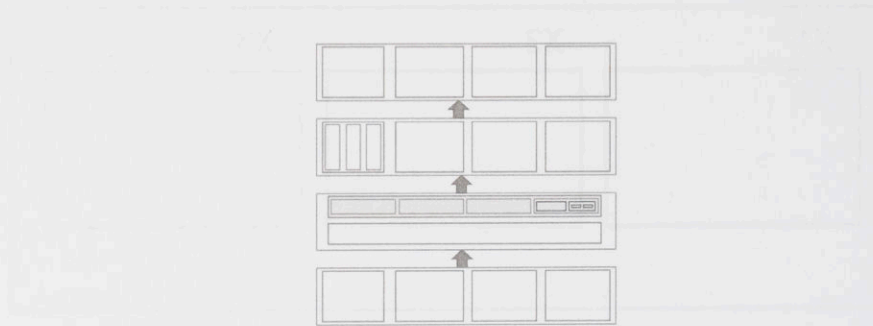
L'architecture est truffée de modules s'identifiant à des schémas élémentaires prototypiques de robustesse (voir la figure 7, dans laquelle les motifs correspondants apparaissent en grisé). On a souvent des séquences de schémas élémentaires prototypiques de robustesse successivement enchâssés les uns dans les autres, qui se déploient en une sorte de spirale sur plusieurs niveaux successifs N, N+1, N+2, etc. d'émergence (voir les zones successivement grisées au niveau du second étage des figures 7a, 7b et 7c).



7a : Motifs élémentaires prototypiques de robustesse (au troisième étage et, pour le second étage, **au niveau N le plus profond de la structure**)



7b : Motifs élémentaires prototypiques de robustesse **au niveau N+1** du second étage de la structure



7c : Motifs élémentaires prototypiques de robustesse **au niveau N+2** du second étage de la structure

Figure 7: Motifs élémentaires prototypiques de robustesse au sein de la dérivation D1

Qu'on descende dans les niveaux les plus profonds en examinant le contenu des modules les plus intérieurs ou qu'on remonte vers les niveaux supérieurs en considérant les modules les plus extérieurs, on trouve toujours, à toutes les échelles, le même type de fonctionnement : en ce sens on peut dire avoir affaire à une sorte de fractale. Il n'y a pas de terme 'naturel' au processus : si l'on part du module le plus extérieur et qu'on considère des modules 'de plus en plus intérieurs', on ne rencontre aucun point d'arrêt. Evidemment, en pratique, il faut bien s'arrêter quelque part, et sur la figure 5, certains modules interviennent comme 'dernier terme', c'est-à-dire ne sont pas décomposés plus

avant. Mais les boîtes correspondantes ne sont pas vides, et rien n'empêche de les ouvrir de la même manière qu'on a ouvert la 'boîte noire' correspondant à D1, matérialisée par une simple flèche dans le schéma 'panoramique' de robustesse de la figure 2. A quelque échelle que ce soit, quand on tombe sur un élément tenu-pour-solide et utilisé sans discussion comme une donnée pour établir la solidité d'autre chose, si l'on se demande d'où cet élément tenu-pour-solide tient sa solidité, on tombe sur de nouvelles architectures édifiées en des temps antérieurs.

L'architecture modulaire de la figure 5 considérée *dans son ensemble* peut être caractérisée comme une symbiose scientifique complexe, c'est-à-dire comme un *équilibre holistique coefficienté complexe* – beaucoup plus complexe que celui qui sous-tend un schéma prototypique de robustesse – au sein duquel 'tout tient bien ensemble' et les multiples ingrédients se soutiennent les uns les autres (*via* de multiples flux de solidité, à double sens ou à sens unique selon que les parties dont on considère les relations sont estimées déjà-solides, ou au contraire fragiles, au moment de l'édification de l'argument).

La réponse à la question de savoir ce à quoi tient, à un moment *t* de l'histoire des sciences, la solidité '*intrinsèque*' d'une dérivation telle que la preuve expérimentale D1, est donc en fin de compte la suivante : la solidité intrinsèque tient à la qualité de l'équilibre holistique coefficienté constitué par une architecture complexe du type de celle de la figure 5. La solidité du tout (de l'argument expérimental visuel D1 en faveur des courants faibles neutres) résulte d'un bilan complexe basé sur la solidité des différentes parties considérées isolément (des arguments partiels mis en jeu) ainsi que sur une appréciation relative à la manière dont toutes les parties 'collent bien' ensemble. C'est parce que les multiples ingrédients 'tiennent bien ensemble', ou en d'autres termes parce qu'ils sont 'en bonne symbiose', que la dérivation D1 comme *tout* apparaît solide.

C. Au bilan, la solidité d'une dérivation D1 dans une coupe synchronique d'histoire des sciences se laisse analyser en deux composantes. (i) **Une contribution 'interne'**, c'est-à-dire relative à ce qu'on trouve quand on ouvre la boîte noire correspondant à la flèche D1 et que l'on regarde 'à l'intérieur' en vue d'explicitier ce dont la dérivation est faite. Sur ce versant, la solidité '*intrinsèque*' dépend de la qualité de la symbiose entre tous les ingrédients de la structure complexe qui constituent la dérivation : quand tous les éléments 'tiennent bien ensemble' au sein de l'architecture, ils se renforcent mutuellement et rendent le tout solide. (ii) **Une contribution 'externe'**, c'est-à-dire relative à ce qu'on trouve à l'extérieur de la flèche D1. La contribution externe tient à la manière dont l'argument D1 peut être articulé avec d'autres éléments au sein de réseaux plus étendus dans lesquels D1 sera traité comme une boîte noire (ou *une* flèche-dérivation de contenu *non spécifié*) parlant en faveur de tel ou tel résultat X. Dans notre exemple, la contribution externe est constituée par le fait qu'en 1975, *d'autres dérivations* D2 et D3 existent à côté de D1, qui aboutissent à des conclusions similaires à celle de D1. La confiance en D1 s'en trouve renforcée 'de l'extérieur', ou en d'autres termes, toutes choses égales par ailleurs, D1 gagne en solidité par une contribution 'externe'.

11. Au bilan : le réseau, unité pertinente pour penser la robustesse. Quand on part d'un schéma élémentaire prototypique de robustesse, et qu'on pose la question de la manière dont un ingrédient quelconque de ce schéma, nœud ou flèche, acquiert sa valeur de solidité, on est conduit à une pluralité *d'autres ingrédients*, articulés au premier d'une certaine manière au sein de structures qui fonctionnent comme des équilibres holistiques

coefficientés (les éléments déjà-robustes étant pourvoyeurs de robustesse, voire étant vus comme fondant la robustesse dans certaines configurations). Si l'on interroge l'origine des valeurs de robustesse *de ces autres ingrédients*, on est conduit à encore d'autres éléments et d'autres équilibres holistiques, et ainsi de suite. On est embarqué dans une régression à l'infini, une sorte de cascade sans fin assez vertigineuse : le fil initial nous conduit à un premier réseau qui s'avère à son tour connecté en extension (synchroniquement) et en profondeur (diachroniquement) à une multiplicité indéfinie d'autres réseaux.

Dans un plan synchronique, la solidité d'un ingrédient – résultat ou procédure – s'explique par sa liaison à beaucoup d'autres éléments, incluant en général un certain nombre d'items dont la solidité est prise comme donnée et non questionnée. Le réseau correspondant peut être représenté, moyennant certaines évaluations et décisions de la part de l'analyste, dans le plan horizontal d'une feuille de papier, *via* une structure du type 'schéma élémentaire prototypique de robustesse' (cf. figure 1) ou une architecture plus complexe semblable à celle qui a été proposée pour représenter la preuve expérimentale visuelle D1 en faveur des courants faibles neutres (cf. figure 5).

Si l'on interroge, au sein de ces schémas synchronique symbolisant la situation historique à un moment donné, comment les éléments dont la robustesse est prise comme donnée et non questionnée ont acquis ce statut, on est renvoyé, en remontant le cours du temps **le long d'un axe diachronique** qu'on peut imaginer 'en profondeur' (perpendiculaire au plan de la feuille figurant l'ordre synchronique), à une série indéfinie d'autres équilibres holistiques.

L'unité pertinente pour penser la robustesse est donc le réseau, et en fait des architectures beaucoup plus complexes que le schéma prototypique de robustesse à quatre ingrédients pris comme point de départ. La robustesse d'un élément renvoie à un réseau multi-dimensionnel d'extension in-terminée, décomposable en une multitude de sous-réseaux dotés d'une certaine autonomie et articulés entre eux selon des configurations complexes. Quand on conçoit un ingrédient des pratiques scientifiques comme 'intrinsèquement solide', comme c'est le cas dans la lecture fondationnelle du schéma de robustesse pour chacune des trois dérivations D1, D2 et D3, c'est simplement qu'on 'oublie' les équilibres holistiques passés qui ont constitué cet ingrédient comme solide.

12. Enjeux épistémologiques : de la lecture symbiotique au contingentisme. Le schéma de robustesse est couramment pensé et utilisé comme un tremplin en vue d'attributions réalistes et comme un critère de vérité. Dans les termes de Wimsatt : "Robustness is widely used as a criterion for the reality or trustworthiness of the thing which is said to be robust" [Wimsatt 1981, 144]. "Robustness is a criterion for the reality of entities" [Wimsatt 1981, 146]. Pourtant, les réflexions développées tout au long de cet article soulèvent de sérieux doutes à propos du saut de la robustesse à la vérité-correspondance, ainsi que du credo inévitable qui va toujours plus ou moins explicitement avec (idée que les résultats robustes sont inévitables car imposés par ce qu'est le monde physique étant donné un état de développement de la science). Au contraire, ces réflexions suggèrent bien plutôt des arguments en faveur d'une position contingentiste difficilement conciliable avec l'idée que ce qui vaut comme connaissance robuste est (au moins approximativement) vrai et devait inévitablement advenir en vertu de sa 'correspondance' au réel (pour une analyse plus rigoureuse de l'opposition

cotégentisme/inévitabilisme et des références, voir [Soler 2008a, 2008b, 2009 chapitre 9, 201X]). Esquissons ces arguments en guise de conclusion.

Premièrement, il faut prendre acte des développements de la section 4.D, et ne jamais oublier qu'il y a deux manières différentes de décrire en mots un schéma de robustesse, qui au premier abord peuvent toutes deux apparaître légitimes, et qui à l'examen sont toutes deux légitimes si on les considère ensemble sans occulter l'une des deux, mais qui, considérées séparément, reflètent et génèrent l'une et l'autre des intuitions fortement différentes et agissent subrepticement l'une en faveur, l'autre en défaveur du réalisme et de l'inévitabilisme. D'un côté on peut dire – et on dit presque toujours – que de multiples dérivations parallèles (disons N) laissent un X *invariant*, aboutissent à (ou convergent sur) *un seul et même* X . Une telle manière de parler n'est évidemment pas fautive dès lors qu'un schéma de robustesse N flèches-un nœud X a effectivement été obtenu. Mais cette formulation suggère subrepticement et irrésistiblement une invariance *déjà donnée telle quelle* au niveau des résultats dérivés par chaque dérivation isolément (cf. figure 3). Elle pousse irrésistiblement à imaginer une *identité pré-déterminée*, un quelque chose (X) *déjà là 'en dehors de nous'*, auquel on devait inéluctablement se heurter comme on se heurte inévitablement à un mur qui se trouve en face de nous, quelle que soit la trajectoire empruntée pour arriver jusqu'à lui. En d'autres termes, cette formulation induit subrepticement une lecture réaliste et inévitabiliste du schéma de robustesse.

Mais si l'on prend conjointement en considération la seconde description du schéma de robustesse, une autre interprétation devient possible et se dégage. Si l'on souligne qu'à considérer l'histoire des sciences, les multiples dérivations aboutissent presque toujours à des résultats en toute rigueur distincts X_1 , X_2 et X_3 , et que l'invariance du X , loin d'être telle quelle donnée d'emblée, est le produit émergent d'un acte de synthèse, parfois évident et quasi 'automatique', parfois créatif et plus problématique, mais toujours présent, de la part des praticiens des sciences, on est plutôt incité à une interprétation constructiviste et contingentiste de la situation. Constructiviste dans la mesure où l'identité, loin d'être donnée, est le produit d'un acte de construction explicitable au cas par cas ; contingentiste, dans la mesure où il ne semble rien y avoir d'inévitable (surtout s'agissant de synthèses créatives) dans le fait qu'historiquement, les praticiens aient effectivement trouvé une re-description calibratrice à leurs yeux satisfaisante qui permette de représenter X_1 , X_2 et X_3 par un unique X , et, dans la suite de l'histoire, d'oublier X_1 , X_2 et X_3 pour penser la situation en termes de N dérivations convergeant sur un unique X . Rien ne semble interdire que dans la même situation historique, les praticiens *auraient pu* ne pas réussir à concilier X_1 , X_2 et X_3 en leur substituant un unique X totalisant (auquel cas *aucun* schéma de robustesse n'aurait émergé), voire *auraient pu* élaborer une re-description calibratrice *différente* X' (auquel cas un *autre* schéma de robustesse aurait émergé). Cette première ligne de réflexions encourage au moins à se méfier de la tendance presque irrésistible à assimiler sans discussion approfondie ce qui est robuste à ce qui est vrai ou à ce qui était inévitable (dans-un-état-de-développement-scientifique-et-jusqu'à-nouvel-ordre-bien-entendu).

Deuxièmement, il faut déployer les conséquences de l'éventualité, envisagée section 5, que les multiples dérivations d'un schéma de robustesse ne soient pas indépendantes du point de vue de leur genèse. Dans une perspective fondationnaliste-réaliste, reconnaître une dépendance génétique derrière un schéma de robustesse a toutes les chances de conduire à récuser la robustesse comme illusoire. Mais on peut aussi s'appuyer sur l'idée de dépendance génétique pour proposer une autre interprétation, non réaliste, de la nature

de l'activité scientifique. Selon cette interprétation, l'activité scientifique, décrite au niveau le plus terre-à-terre, consiste précisément à s'efforcer d'ajuster mutuellement les ingrédients des pratiques scientifiques de façon à obtenir une consilience optimale : en d'autres termes à rechercher (et parfois à obtenir) des symbioses scientifiques optimales dans lesquelles un maximum d'éléments sont harmonieusement liés les uns aux autres, et de ce fait, se renforcent réciproquement. Dans cette interprétation, une dépendance historique au niveau de la genèse des dérivations n'a pas à être condamnée ou dénoncée, bien au contraire. L'idée de symbiose, qui envisagée dans un plan synchronique renvoie à un équilibre holistique (presque toujours coefficienté) *effectivement obtenu*, doit aussi inclure, envisagée d'un point de vue dynamique, l'idée de *co-maturation* (en l'occurrence, co-maturation du contenu des arguments élaborés au cours d'une investigation scientifique). L'idée est que les co-stabilisations éventuellement obtenues à un moment donné (typiquement : trois arguments différents convergeant sur le même X) émergent d'un processus antérieur plus ou moins sinueux de co-maturation.

Si l'on admet que la caractérisation précédente est une description adéquate de ce que font effectivement les scientifiques en activité (même si bien entendu, ceux-ci ne formulent pas leur quête en ces termes), le 'miracle' de la convergence invoqué par le réaliste en faveur de sa position apparaît nettement moins miraculeux. Si, historiquement, les quatre ingrédients D1, D2, D3 et X correspondent à une co-stabilisation émergente, obtenue au terme de multiples essais de co-ajustements successivement tentés au cours de la trajectoire antérieure de recherche, le 'miracle', c'est que les praticiens ont réussi – sous les diverses contraintes, perçues comme extrêmement fortes, qui se manifestent à eux dans un état donné de développement scientifique – à obtenir non seulement une co-stabilisation entre les *quatre* termes impliqués (un schéma de robustesse D1, D2, D3, X), mais, *de plus*, une co-stabilisation dont tous les éléments constitutifs sont également en bonne harmonie *avec l'ensemble des autres éléments déjà-tenus-pour-solides* dans l'état de développement scientifique considéré. On peut vouloir maintenir le terme de « miracle » afin d'indiquer l'extrême difficulté et le haut degré d'ingéniosité que requiert un tel résultat. Mais clairement, ce type de miracle ne nourrit plus l'intuition réaliste prête à s'activer en tout un chacun. On n'est plus enclin à invoquer la pression du réel comme l'origine, voire la cause, de la convergence – même si l'on peut toujours conserver la notion de réalité indépendante comme idéal régulateur, but et motivation de la recherche du point de vue des praticiens, ou encore l'invoquer comme une source de contraintes globales impossibles à isoler. Dans un tel scénario, l'inférence « c'est robuste, donc c'est vrai » (au sens de la vérité-correspondance) ne s'impose plus. Les contraintes qui pèsent sur l'élaboration scientifique et les décisions de la communauté scientifique de retenir telle option comme la plus satisfaisante, sont des contraintes globales relatives à la cohérence d'ensemble. Ou plus exactement – car la cohérence s'applique en toute rigueur uniquement à des *énoncés*, alors que beaucoup d'*autres types* d'ingrédients, sur lesquels les praticiens peuvent jouer en vue de l'obtention de bonnes symbioses, interviennent dans les pratiques scientifiques (pour un répertoire, voir [Hacking 1992]) – ce sont des contraintes relatives à l'*harmonie du tout* (typiquement : les *instruments* doivent fournir des *sorties instrumentales* – traces visuelles sur des clichés, etc. – interprétables, *via* telles ou telles *techniques d'analyse des données*, en termes de *résultats expérimentaux* compatibles entre eux et chacun en accord avec les *prédictions des grandes théories-cadre* : les divers types d'ingrédients figurant en italiques sont alors en bonne symbiose).

Troisièmement, ces contraintes globales, bien que laissant en pratique très peu de marge de liberté aux praticiens, ne suffisent pas à imposer en droit une unique option qui

pourrait alors être candidate à une interprétation réaliste. Plusieurs arguments peuvent être mis en avant en faveur de cette affirmation. La manière dont le schéma abstrait 'dérivations multiples convergeant sur un X', ou dont une structure modulaire plus complexe du type de celle représentée figure 5, prend corps dans une situation historique donnée, est tributaire d'une mise en forme conceptuelle et théorique (façons de poser et d'analyser les problèmes, de formuler les questions, de décider des variables pertinentes...) et de choix stratégiques divers (pour des illustrations, voir [Soler 2012b]). Chaque module, chaque décomposition modulaire, chaque équilibre holistique modulaire, en vient à l'existence sur la base d'une telle mise en forme. Or il est pour le moins difficile de soutenir que cette mise en forme est telle quelle inscrite dans la nature ou même imposée de manière unique aux praticiens par ce qui a valeur de connaissances déjà acquises dans un état donné de la recherche. Et pourtant, c'est ce qu'il faudrait pouvoir soutenir pour être en mesure de conclure au réalisme-correspondantiste et à l'inévitabilisme sur la base d'un schéma de robustesse (ou d'une architecture plus complexe en référence à laquelle un X est jugé solide) : il faudrait pouvoir soutenir qu'*à un moment ou un autre du processus de la recherche* (fut-ce au fameux 'terme idéal de l'investigation scientifique'), 'ce qu'est la nature' ou au moins 'l'état actuel des connaissances scientifiques' impose d'une manière ou d'une autre une *unique* symbiose scientifique. Autrement, si plusieurs symbioses scientifiques ontologiquement incompatibles, coordonnées à des mises en forme et des choix stratégiques différents, peuvent toujours être élaborées, *s'il n'y a aucun point à partir duquel l'une d'entre elle doit s'imposer de manière unique*, nous sommes ramenés à une conception contingentiste : à l'idée d'une science alternative qui pourrait être d'une part authentiquement robuste (dans le même sens que la nôtre : tout tiendrait bien ensemble), d'autre part ontologiquement incompatible avec la nôtre (associée à des descriptions du monde localement contradictoires ou incommensurables).

Or quel argument fournir en faveur de l'idée qu'un équilibre holistique tel qu'une structure de robustesse ou une architecture modulaire plus complexe est inévitable ou imposée de manière unique dans un état de la recherche ? Dans une coupe synchronique d'histoire des sciences, les équilibres susceptibles d'être construits dépendent des éléments coprésents, et bien sûr, *quels éléments sont coprésents à un moment donné est largement contingent*. De plus, les symbioses qui vont être tentées, et éventuellement obtenues, dépendent des éléments qui sont tenus-pour-déjà-robustes au moment considéré, et quels éléments sont tenus-pour-déjà-robustes dépend de la science passée, notamment de *l'ordre* dans lequel les questions ont été investiguées au cours de l'histoire des sciences, *ordre dont personne ne conteste en soi le caractère contingent*. En outre, étant donnés les éléments coprésents et les éléments déjà-robustes à un moment de l'histoire des sciences, les symbioses scientifiques qui seront effectivement construites dépendent encore de la créativité des praticiens des sciences, des stratégies qu'ils privilégieront, de la manière dont ils conceptualiseront les questions, etc. Quand on considère la construction d'équilibres holistiques du point de vue génétique, on ne voit pas quelles contraintes invoquer qui seraient capables, à un moment de la recherche, d'éradiquer toutes les contingences du chemin et d'imposer, en tel ou tel point, une unique solution susceptible de prétendre 'correspondre' au réel. Tous les moments du processus étant structurellement identiques, il est inopérant d'en appeler à un facteur temps supposé éliminer 'à long terme' les contingences 'à court terme' qu'en elles-mêmes personne ne nie (telles que l'ordre de l'établissement des résultats, quels éléments sont tenus-pour-robustes à un moment *t*, le fait qu'à *t* une communauté scientifique aurait pu

apporter, à une question scientifique donnée, une réponse négative plutôt que la réponse positive tenue pour valide à t' – événement contingent re-décrit à t' comme une erreur commise à t –, etc.).

Prenons la situation dans l'autre sens. Partons d'une symbiose scientifique effectivement obtenue à un moment donné de l'histoire des sciences, par exemple celle qui, en 1975, institue l'existence des courants faibles neutres en fait expérimental (cette symbiose comprend les trois architectures complexes correspondant aux trois dérivations expérimentales D1, D2 et D3, articulées selon la structure du schéma élémentaire prototypique de robustesse). Chaque sous-module de ce réseau modulaire fonctionne lui-même comme un équilibre holistique ou une symbiose locale. Imaginons une modification en un point quelconque du réseau (par exemple, imaginons que telle technique utilisée ici ou là n'ait pas encore été connue à l'époque ; ou imaginons, comme déjà envisagé section 5, que l'expérience visuelle n'ait pas été mise en œuvre faute de moyens financiers). L'équilibre constitutif du module où intervient la variation imaginaire localement introduite est rompu. Comme les équilibres locaux sont eux-mêmes en équilibre avec d'autres équilibres modulaires, de proche en proche, l'équilibre global considéré au départ est susceptible d'être déstabilisé et rompu. Il est alors envisageable que, dans cette histoire des sciences contrefactuelle, les conclusions émergentes (les réponses apportées à certaines questions scientifiques posées) soient différentes de celles qui ont effectivement prévalu dans notre histoire des sciences (par exemple : non, les courants neutres faibles n'existent pas). Admettons cette possibilité (qui n'est pas absurde puisque, comme on l'a vu, une telle conclusion a effectivement été tirée par l'équipe des expérimentateurs électroniques à un moment de leur recherche sur les courants neutres, ceci sur la base d'un argument également analysable en termes d'équilibre holistique ou de symbiose). Imaginons donc que la conclusion selon laquelle les courants faibles neutres n'existent pas soit, sur la base d'un équilibre holistique contrefactuel, considérée comme suffisamment solide et soit publiée. Ce qui est tenu-pour-solide dans un état de la recherche conditionne fortement – sans toutefois l'imposer de manière unique – la suite de l'histoire. Ainsi, le 'non' a toutes les chances de se trouver utilisé sans plus de vérification par de nombreux autres praticiens (car les uns ne peuvent passer leur temps à re-vérifier ce qui est investigué par les autres, cf. le processus de 'détachement pratique' invoqué section 9). Le 'non' est alors *pris comme donnée* dans de nombreuses autres investigations, c'est-à-dire intervient à titre d'élément déjà-solide dans de *nouveaux* équilibres holistiques établissant la robustesse de *nouveaux* résultats. Et ainsi de suite... De proche en proche, on génère ainsi par la pensée une trajectoire scientifique qui s'éloigne de plus en plus de la nôtre. On aboutit encore une fois à l'idée d'une science alternative descriptivement incompatible avec la nôtre, et néanmoins robuste en un sens et à un degré similaire à la nôtre (comme la nôtre, la science alternative est un tout harmonieux au sein duquel de nombreuses prédictions issues des théories sont expérimentalement corroborées, au sein duquel de multiples technologies efficaces sont développées, etc.).

L'argument principal en faveur du contingentisme, c'est le fonctionnement holistique-symbiotique de la science, joint au fait que les contraintes qui pèsent sur la construction et l'acceptation d'un 'bon équilibre holistique' ou d'une 'symbiose scientifique satisfaisante' *ne sont pas assez fortes pour imposer*, à *aucun* moment du processus, une solution *unique* – qui pourrait alors prétendre s'imposer aux scientifiques de manière inévitable, étant donné ce qu'est le monde physique et l'état de développement de notre connaissance. Ceci suggère la possibilité et la *légitimité* de

plusieurs co-stabilisations (ou symbioses ou équilibres holistiques) toutes *robustes* mais *localement incompatibles* (par exemple en termes de faits expérimentaux : existence / non existence des courants faibles neutres), voire globalement incommensurables. Sans prétendre avoir démontré le contingentisme, j'espère avoir convaincu qu'une réflexion sur la manière dont fonctionnent les attributions de robustesse dans notre science incite au moins à prendre au sérieux la possibilité du contingentisme, et à investiguer cette possibilité en dépit du fait qu'elle se heurte à des intuitions profondément ancrées.

RÉFÉRENCES

- [1] BENVENUTTI, A. (1974). Observation of Muonless Neutrino-Induced Inelastic Interactions. *Physical Review Letters*, 32(14), 800–3.
- [2] HACKING I. (1981). Do We See Through a Microscope? *Pacific Philosophical Quarterly*, 62, 305-22.
- [3] HACKING I. (1992). The Self-Vindication of the Laboratory Sciences. In A. Pickering (éd.), *Science as Practice and Culture*, University of Chicago Press, Chicago, 29-64.
- [4] HASERT, F.J. et al.. (1973a). Observation of Neutrino-Like Interactions Without Muon or Electron in the Gargamelle Neutrino Experiment. *Physical Letters*, 46B, 138–40.
- [5] HASERT, F.J. et al.. (1973b). Search for Elastic Muon-Neutrino Electron Scattering. *Physical Letters*, 46B, 121–4.
- [6] PICKERING, A. (1984). *Constructing Quarks, A Sociological History of Particle Physics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- [7] PICKERING, A. (1995). *The Mangle of Practice. Time, Agency and Science*, The University of Chicago Press, Chicago, 1995.
- [8] NICKLES, T. (2012). *Dynamic Robustness and Design in Nature and Artifact*, in [Soler et al. 2012], chapitre 14.
- [9] SOLER, L. (2008a). Are the Results of our Science Contingent or Inevitable? Introduction of a symposium devoted to the contingency issue. *Studies in History and Philosophy of Science*. L. Soler and H. Sankey (éds.), 39, 221-229.
- [10] SOLER, L. (2008b). Revealing the Analytical Structure and Some Intrinsic Major Difficulties of the Contingentist / Inevitabilist Issue. *Studies in History and Philosophy of Science*. L. Soler and H. Sankey (éds.), 39, 230-241.
- [11] SOLER, L. (2009). *Introduction à l'épistémologie*, seconde édition revue et augmentée, Ellipses.
- [12] SOLER, L. (2012a). The Solidity of Scientific Achievements: Structure of the Problem, Difficulties, Philosophical Implications, in *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science*, L. Soler, E. Trizio, T. Nickles et W. Wimsatt (éds.), Springer, Dordrecht.
- [13] SOLER, L. (2012b). Robustness of Results and Robustness of Derivations : The Internal Architecture of a Solid Experimental Proof, in *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science*, L. Soler, E. Trizio, T. Nickles et W. Wimsatt (éds.), Springer, Dordrecht.
- [14] SOLER, L. (201X). A General Structural Argument in Favor of the Contingency of Scientific Results. In *Science as it Could Have Been. Discussing the Contingent / Inevitable Aspects of Scientific Practices*, L. Soler, E. Trizio et A. Pickering (éds.).
- [15] SOLER, L., TRIZIO, T., NICKLES, T., WIMSATT W. C. (éds.) (2012). *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science*, Springer, Dordrecht.
- [16] TRIZIO, E. (2012). *Achieving Robustness to Confirm Controversial Hypotheses: A Case Study in Cell Biology*, in [Soler et al. 2012], chapitre 4.
- [17] WIMSATT, W. C. (1981). Robustness, Reliability, and Overdetermination, In *Scientific Inquiry and the Social Sciences*, A volume in honor of Donald T. Campbell, Jossey-Bass Inc. Publishers. Réédité dans [Soler et al. 2012], chapitre 2.

[18] WIMSATT, W. C. (2007). *Re-Engineering Philosophy for limited beings, Piecewise Approximations to Reality*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.

[19] WIMSATT, W. C. (2012). Robustness: Material, and Inferential, in the Natural and Human Sciences, in [Soler et al. 2012], chapitre 3.

Membre des Archives Henri Poincaré
Laboratoire d'Histoire des Sciences et de Philosophie, UMR 7117
IUFM de Lorraine
E-mail : l_soler@club-internet.fr

POSTFACE

L'objectif du séminaire Transericod était de présenter et discuter diverses approches de la « robustesse ». Il s'agissait également d'échanger des points de vue disciplinaires sur ce thème, de constater les éléments communs et les différences de conception, de rechercher un/des cadre(s) épistémologique(s) de référence. Cet ouvrage concentre une grande part des apports du séminaire dans des articles écrits par les orateurs. En ce sens, et sans toutefois prétendre à l'exhaustivité, il constitue une assez bonne représentation de l'objet « robustesse » tel qu'il est appréhendé par un certain nombre de disciplines. À la lecture de ces articles et à la lumière des riches exposés présentés lors du séminaire, nous pouvons dégager quelques réflexions et quelques mots clés de nature, nous l'espérons, à éclairer et à prolonger le débat.

Variété et universalité

Le lecteur constatera tout d'abord la richesse des approches proposées, dans les domaines de recherche représentés : mathématiques et statistiques, analyse spatiale, physique, traitement informatique du langage, recherche opérationnelle, philosophie des sciences. Deux groupes d'articles se distinguent. Certains auteurs ont choisi d'utiliser ou de développer les méthodes robustes propres à leur discipline avec force de détails [2,5,6,7] ; d'autres ont dressé un état de l'art méthodologique large et complet et/ou une construction réflexive approfondie sur la robustesse [1,3,4,8,9]. Ces deux niveaux de présentation soulignent une première caractéristique des apports : en sciences exactes ou humaines, la robustesse a atteint un niveau de définition non trivial et instruit pour devenir un objet de recherche approprié et clairement défini dans les corpus disciplinaires. Tour à tour, les auteurs des articles cités dans cette postface parlent ainsi de « préoccupation », de « propriété », de « solution », de « conclusion » [1,2], de « décision », de « modèle » [8], de « contrôle » [3], ou d'« estimateur » [4,5,7] robustes. Comme on le voit, si l'objet semble relativement universel, ses déclinaisons sont variées.

Modèle

L'ensemble des contributions de cet ouvrage associe les modèles à la robustesse, explicitement [1,4,5,8,9] ou implicitement [2,3,6,7]. La représentation par les modèles met en exergue, par ricochet, les données représentant le monde réel, en les distinguant des processus d'analyse et de décision [1,9]. Pour toutes les approches proposées dans cet ouvrage, la robustesse semble objectivable, dans le sens où elle vise à rester le plus possible détachée du sujet (expert, praticien) qui manipule les données. La robustesse renforcerait ainsi la capacité de représentation, de simulation, voire d'anticipation des modèles.

Échelles

Le contexte d'évaluation de la robustesse revêt plusieurs dimensions. La détection du concept d'échelles dans les textes de cet ouvrage peut paraître anodine [8,9]. Il ne s'agit pas seulement de l'échelle du géographe, c'est à dire du rapport de taille entre le monde réel et sa représentation cartographique, mais bien de la façon dont différentes granularités pertinentes de description d'un phénomène se complètent avantageusement dans leur pouvoir d'explication. Cette idée nous paraît intéressante, dans la mesure où la plupart des modèles arborant une mesure de robustesse n'opèrent qu'à une seule échelle de description. La généralisation de l'usage de la robustesse à différentes échelles permettrait-elle d'améliorer la qualité des modèles ?

Relativité

Ce point met en évidence le choix ou non d'une référence, sur laquelle l'expert va (ou non) baser l'évaluation de la robustesse. Faut-il considérer la robustesse dans l'absolu ou par rapport à un seuil, un état au-delà duquel on pense que la décision ou la méthode n'est pas robuste ? Deux approches semblent ici coexister. Dans un premier cas (i), on cherche à évaluer, dans l'absolu, quelle est la robustesse de la méthode proposée face à diverses méthodes alternatives. Cela peut correspondre par exemple à une fonction d'objectif dans laquelle est inscrite la mesure de

robustesse. La convergence vers une valeur stable accompagnée d'un bon score suffit à déclarer effective la robustesse, indépendamment de toute référence. Dans un autre cas (ii), on ne vise pas particulièrement à obtenir un résultat (sub-)optimal. On commence par fixer une référence (*e.g.* pire des cas ou des scénarios, un niveau de risque, un attendu, un seuil de changement, etc.), et on étudie l'écart de l'observation par rapport à ce cas idéal et théorique. La plupart des articles associent ces deux approches, en mettant en avant plutôt l'une ou l'autre. Les articles [2,4,5,6,7] semblent plutôt s'appuyer sur l'approche décrite en (i), pour d'autres c'est l'inverse [1,3]. De même, la façon d'évaluer la robustesse varie selon les auteurs et les disciplines, d'approches ordinales [1,2] (ordre partiel dans les choix pour l'aide à la décision, par exemple) à cardinales [5,6,7] (valeur mesurée par unique critère quantitatif déterminant). Toutes ces formes d'évaluation de la robustesse rendent les analyses très riches.

Contexte de la robustesse

Deux contributions [8,9] nous invitent à considérer la robustesse dans une approche systémique, (voire historique), où d'une part, le tout (et donc la robustesse globale) est plus que la somme des parties (et donc la somme des robustesses), d'autre part, la non robustesse de certains composants du système peut affecter celle d'autres composants et celle du système tout entier. En d'autres termes – et cette question est liée à la modélisation – peut-on qualifier, quantifier la robustesse entre les éléments du système dans lequel elle évolue ? Par exemple, comment décréter qu'une méthode est robuste alors que le processus de sa propre évaluation peut être soumis à caution ? Quelles contraintes ou hypothèses doit-on formuler pour assurer la valeur finale de la décision : « oui, cette méthode est robuste » ? Les disciplines représentées dans cet ouvrage proposent des réponses plus ou moins précises selon les cas, en explicitant (ou non) les hypothèses sous-jacentes.

Robustesse et vérité

Pour finir, nous pouvons évoquer la discussion proposée dans le dernier article [9] de ce numéro, à savoir, peut-on inférer qu'une décision, un fait ou un état est vrai(e), par le simple fait que la robustesse de l'approche pour y parvenir et considérée comme suffisante ? Sur ce point, il semblerait qu'il y ait un consensus implicite parmi une majorité d'articles de cet ouvrage. La robustesse semblerait apporter une preuve de validité. Tout au moins, on peut dire, ou sous-entendre, qu'une préférence sera acquise pour la solution ou la décision « la plus robuste ». Bien entendu, cela s'entend, sous couvert d'une bonne adéquation entre le monde réel et sa représentation (dans les données), entre la méthode choisie et l'objectif poursuivi [1]. Mais comme le suggère Pirandello : à chacun sa vérité ! Le débat reste donc ouvert...

D. Blanke, M. Ciligot-Travain, D. Josselin

Références de l'ouvrage

- [1] ROBUSTESSE ET RECHERCHE OPÉRATIONNELLE EN AIDE À LA DÉCISION (RO-AD), par Bernard Roy
- [2] AIDE À LA DÉCISION ROBUSTE POUR LA LOCALISATION D'UN CENTRE DE TRAITEMENT DES DÉCHETS. COMPARAISON DE MÉTHODES D'ANALYSE MULTICRITÉRES, par Daniel Gourion et Didier Josselin
- [3] SUR UNE NOTION DE ROBUSTESSE, par Marc Ciligot-Travain
- [4] ROBUST STATISTICS: A FUNCTIONAL APPROACH, par Anne Ruiz-Gazen
- [5] COMPARING NEW ADAPTIVE AND ROBUST ESTIMATORS OF LOCATION, par Delphine Blanke, Edith Gabriel and Didier Josselin
- [6] RECONNAISSANCE DU LOCUTEUR : ROBUSTESSE FACE À LA VARIABILITÉ CANAL, par Driss Matrouf
- [7] FILTRAGE DE KALMAN ET ROBUSTESSE, par Philippe Neveux
- [8] ROBUST MODELING IN NATURAL SCIENCES, par Annick Lesne
- [9] LA ROBUSTESSE EN PHILOSOPHIE DES SCIENCES : DÉFINITION, DIFFICULTÉS, ENJEUX PHILOSOPHIQUES, par Léna Soler